2021年に発生した地震による災害調査報告(2021年3月20日~23日):松川浦,新地町(2月福島県沖の地震)および相馬市・新地町・山元町・塩竈市(3月宮城県沖の地震)

大角恒雄*1·水井良暢*2·池田真幸*3·松原 仁*4

A Study of Slope Damage in Matsukawaura, Shinchi Town, Shiogama City Related to the 2021 Fukushima Offshore Earthquake and the 2021 March Miyagi Offshore Earthquake

Tsuneo OHSUMI*1, Yoshinobu MIZUI*2, Masaki IKEDA*3, and Hitoshi MATSUBARA*4

*¹Multi-Hazard Risk Assessment Research Division,
 *²Disaster Information Research Division,
 *³Disaster Resilience Research Division,
 National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan
 *⁴School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of the Ryukyu
 t ohsumi@bosai.go.jp, mizui@bosai.go.jp, m-ikeda@bosai.go.jp, matsbara@tec.u-ryukyu.ac.jp

Abstract

The road slope on a coastal terrace on the east side of Matsukawaura-Ohhashi collapsed during the 2021 Fukushima Offshore Earthquake (February 13, 2021, magnitude M7.3) where the west side also collapsed in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. Many microorganisms were found to be habitable due to the color change from light brown to dark brown on the collapsed surface. In this study, some rocks were sampled from the collapsed surface and other surfaces and investigated their microstructures and element maps. The existence of the sulfur compound was observed in brown parts of collapsed surface. This means that many prokaryotes inhabit the place. Therefore, we obtained a standpoint that a microbe was more likely to affect collapse. Additionally, we investigated the relationship between damage to housing and slope conditions in Shinchi Town, where housing was damaged during the earthquake. Coincidentally, we encountered the 2021 Miyagi Offshore Earthquake (March 20, M6.9) during the field investigations, so that we also investigated the state of damage at Shiogama, We report the findings of the additional field survey.

Key words: 2021 Fukushima Offshore Earthquake, 2021 Miyagi Offshore Earthquake, Slope damage, Matsukawaura, Shinchi Town, Shiogama

1. はじめに

2021年2月13日福島県沖地震にて松川浦大橋東 側では,海岸段丘を利用した道路法面が崩壊した. この地点は2011年東北地方太平洋沖地震において も松川浦大橋西側で崩壊が生じている.筆者らは, 当該崩壊面が褐色に変色していることに着目し,層 理面には多くの微生物が蔓延っている状態で,今回 の地震をきっかけに法面崩壊が生じたと考え,崩壊

^{*1}国立研究開発法人 防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価研究部門

^{*2}国立研究開発法人 防災科学技術研究所 防災情報研究部門

^{*3}国立研究開発法人 防災科学技術研究所 災害過程研究部門

^{*4}国立大学法人 琉球大学工学部工学科 社会基盤デザインコース



- 図1 松川浦大橋周辺の崩落位置(出典:地理院地図「シームレス空中写真」) ① 松川浦大橋東側:2021 年福島県沖の地震崩壊地点② 松川浦大橋西側:2011 年東北地方太平 洋沖地震の崩壊地点
- Fig. 1 Collapse points around the Matsukawaura-Ohhashi (Source by Geographical Survey Inst. Map).
 Site ① East collapsed point of the Matsukawaura-Ohhashi in the 2021 Fukushima Offshore Earthquake.
 Site ② West collapsed points of the Matsukawaura-Ohhashi in the 2011 Great East Japan Earthquake.

面のサンプリングを行った.この地震で,住宅被害 の発生した新地町においても,住宅被害と法面の状 況との関係を調査した.また,3月20日の宮城県沖 地震に遭遇,塩釜崩壊地点調査の成果をまとめ,併 せて報告する.

2. 福島県沖の地震

2.1 松川浦法面崩壊

福島県沖の地震(2021年2月13日, M7.3)におい て、松川浦大橋東側の法面にて落石が発生し、臨港 道路で乗用車が被害を受けた.図1,写真1,2,3 に松川浦大橋周辺の崩落位置を示す.松川浦大橋東 側で乗用車が巻き込まれ,報道された地点であるが, 2011年東北地方太平洋沖地震においても松川浦大橋 西側で崩壊が生じ,今回も同様な崩壊が生じている (写真4,5).

写真6に野田利弘教授(名古屋大学)提供の2011 年東北地方太平洋沖地震時の崩壊を示す.崩壊の上 部と崩壊面は変色しており,崩壊の上部から水が崩 壊面のクラックに流れ込み、酸化し褐色となり,地 震動か津波の引き波で崩落したことが類推される. 写真7に2021年3月20日時点の状況を示す.褐色 部分は10年を経て流出している.

図2に松川浦周辺古今マップと平成23年東北地

方太平洋沖地震後斉射画像 (a) 1/50,000「中村」:明 治 41 年 測図・明治 45.4.30 発行,(b) 今昔マップ 1/50,000「相馬中村」(昭和 27 年応修・昭和 28.3.30 発 行),(c) 今昔マップ 1/50,000「相馬中村」(平成 4 年 修正・平成 5.10.1 発行)を(d) 地理院地図(平成 23 年 東北地方太平洋沖地震後正射画像:2011 年 3 ~ 4 月 撮影)とともに示す.

松川浦大橋の架かる潮口部は人工開削(1910年施 工)で、それ以前の地形図を見ると海食崖は現在と 同じ形状である。潮口部開削は、砂州の堆積が進み 何度も閉塞するので漁港としての機能を維持するた めに1910年に実施され、その後護岸化したと思わ れる。港湾接続道路の開削は、昭和62(1987)年ま でに北側の新港が埋立造成されたのち、松川浦大橋 (1992年開通)等周辺の臨港道路整備と合わせて実 施されたものと思われる。よって、当該臨港道路は、 海食崖を活用した道路であり、崩壊地点は、部分的 な切土はあるものの、自然の海食崖が崩壊したもの と思われる。

地質図 Navi¹⁾ によると砂岩泥岩互層が大橋の両 側に海食崖に分布している.崩壊面は褐色に変化し ており(写真2~5),雨水の浸透によって酸化が進 行していた.また,層理面の状態観察から多くの微 生物が蔓延っていることが示唆され,地震が発生す



- 写真1 松川浦大橋周辺の崩落位置(大橋東側からの臨海道路;2021年3月20日撮影)
 ① 松川浦大橋東側:2021年福島県沖の地震の崩壊地点
 ② 松川浦大橋西側:2011年東北地方太平洋沖地震の崩壊地点
- Photo 1 Collapse points around the Matsukawaura-Ohhashi from East side view (Photo. taken March 20, 2021).
 Site ① East collapsed point of the Matsukawaura-Ohhashi in the 2021 Fukushima Offshore Earthquake.
 Site ② West collapsed points of the Matsukawaura-Ohhashi in the 2011 Great East Japan Earthquake.





写真2 松川浦大橋東側全景(福島県沖の地震で崩壊地点) Photo 2 Site ①: Full view of East side at the Matsukawaura-Ohhashi point.

写真3 松川浦大橋東側(クローズアップ) **Photo 3** Close up of photo 2.



写真4 松川浦大橋西側全景(福島県沖の地震で崩壊地点) Photo 4 Site ②: Full view of West side at the Matsukawaura-Ohhashi point.



写真5 松川浦大橋西側(クローズアップ) Photo 5 Close up photo 4.



写真6 2011 年東北地方太平洋沖地震の崩壊 野田利弘教授(名古屋大学)提供(2011 年撮影) **Photo 6** Collapsed by the Great East Japan Earthquake. (Courtesy by Prof. Noda with Nagoya Univ.)



写真7 2021年の状況 褐色部分は10年を経て消出 Photo7 Present status in 2021. The brown part disappears after ten years.



- 図2 松川浦周辺古今マップと平成23年東北地方太平洋沖地震後正射画像 出典: (a)今昔マップより 1/50,000「中村」(明治41年測図・明治45.4.30発行) (b)今昔マップより 1/50,000「相馬中村」(昭和27年応修・昭和28.3.30発行) (c)今昔マップより 1/50,000「相馬中村」(平成4年修正・平成5.10.1発行) (d)地理院地図「平成23年東北地方太平洋沖地震後正射画像」(2011年3~4月撮影)
 Fig. 2 Around Matskawaura Konjaku map and Simultaneous shooting image after the 2011 Great East Japan Earthquake.
- Source: (a) Konjaku map, 1/50,000 "Nakamura" (Surveyed in 1908 · Published in April 30, 1912)
 - (b) Konjaku map, 1/50,000 "Souma-Nakamura" (Emergency Revised in 1952 · Published in March 30, 1954)
 (c) Konjaku map, 1/50,000 "Souma-Nakamura" (Revised in1992 · Published in Oct., 1, 1993)

(d) Geographical Survey Inst. Map, Orthographic image after the 2011 Great East Japan Earthquake (March to April, 2011)

る以前より微生物による風化や鉱化現象が進行して いたと考えられた. すなわち, 今回の落石事象に よって, 法面における微生物風化の作用と危険性が 顕になった可能性が示唆される. そこで本研究で は, 雑菌の混入に十分注意し, 変色面を持つ箇所と それ以外の箇所からそれぞれ5つずつサンプリン グした(写真8,9). また,今回の地震では,東日 本太平洋沖地震(2011年3月11日, M, 9.0)の直後 に調査した松川浦大橋西側の法面においても東側同 様に崩壊が生じていたことから、西側法面において も同じ条件でサンプリングした. 採取したサンプル は, 雑菌の繁殖を抑えるために冷蔵保管し, 研究室 に運搬した後に走査電子顕微鏡法 (scanning electron microscopy; SEM) およびエネルギー分散型 X 線分析 (energy dispersive X-ray spectroscopy; EDX), 細胞 外高分子物質 (extracellular polymeric substance; EPS) を実施した(写真10,11,12).速報として、すべて のサンプルで珪藻と見られる構造が数多く観察され た(写真11).一方,褐色部にはバイオフィルムと見 られる炭素のネットワーク構造や針状の硫黄化合物

の存在が観察され(写真12),これらの構造は褐色部 以外では確認されなかった. バイオフィルムの存在 は、EPS の存在を肯定し、その場所に多くの原核生 物等の微生物が生息していることを意味する.した がって、EPS 周辺にいる微生物が岩の崩落に関わっ ている可能性は高い.

2.2 新地町における法面と住宅被害

内閣府の人的・物的被害の状況(消防庁情報:2月 22日)では,都道府県別の住宅被害は3,112棟のうち, 宮城県は295棟,福島県は2,811棟で両県に被害が 集中している.新地町では、1,300棟にも及んだこ とにより,住宅被害の調査地点は,福島県相馬郡新 地町とした.

3月20日時点では、被災箇所と思われる箇所はブ ルーシートで覆われ詳細はわからないが、屋根の棟 部分の損傷例のような被害が新地町に集中している (写真13a, b).

写真14に道路を挟んで損傷が多数発生した地域 を示す.愛宕団地を背に右側に家屋の被害が集中し, 地形上切土上の盛土の影響も考えられる. 左側の地



褐色面(崩壊面):福島県沖の地震地点例 Brown part (collapsed surface): Site ①



東北地方太平洋沖地震地点近傍例 Site 2



褐色していない箇所:福島県沖の地震地点例 Normal part: Site ①



Site 2

写真8 サンプリング例 Photo 8 Samplings.

東北地方太平洋沖地震地点近傍例



写真9 現地サンプリング状況 Photo 9 Field Sampling.



福島県沖の地震地点 褐色部分例





東北地方太平洋沖地震地点 褐色部分例 Site ② (Brown parts)

写真 10 EDX 解析結果の比較(褐色部分) **Photo 10** Comparison of EDX analytical results (Brown parts).



H D10.1 x800 100 pm

写真 11 SEM 画像解析 Photo 11 SEM image analysis.



写真 12 EDX 解析結果 Photo 12 EDX analytical results.



写真 13a 福島県相馬郡新地町:屋根の棟部分の損傷例 Photo 13a Shinchi Town, Souma-gun, Fukushima Pref.: Example of damage to the roof ridge.



写真 13b 福島県相馬郡新地町:屋根の棟部分の損傷例 Photo 13b Shinchi Town, Souma-gun, Fukushima Pref.: Example of damage to the roof ridge.



写真14 福島県相馬郡新地町:道路を挟んで損傷が軽微な地域(左)と住宅損傷が多数発生 した地域(右)

Photo 14 Shinchi Town, Souma-gun, Fukushima Pref.; Minor damage areas (left) and Damaged areas of the house ridges (right) across the road.

域は殆ど被害がない.被害家屋は屋根の材質も右側 が日本瓦であり,左側の地域に見られるセメントに 繊維素材を混ぜて薄い板状に加工した化粧スレート と異なり,外見上無被害は見られない.また,周辺 の液状化痕跡はない.

写真 15 に低い位置の墓地と斜面頂上の墓地の被 害の比較を示す.低い位置の墓地では墓石の転倒, 移動がほとんど見られないのに対し,斜面頂上の墓 地では墓石の転倒,移動が激しい.

図3に切土と切土上の盛土の地震応答解析の応答 の差異⁴⁾を示す.固く安定した切土上に設置された 盛土が,切土のみの地盤に比べ,応答加速度分布と ひずみ分布が集中すること(インピーダンス比が大 きい)ことで、地震動が増幅することとなり、片盛 りの道路法面が地震時に崩壊する現象とつながる.

図4に新地町愛宕団地今昔マップを(a)今昔 マップ(左上)1/50,000「角田」(明治41年測図・明 治45.5.30発行),(b)今昔マップ1/50,000「角田」(昭 和27年応修・昭和27.12.28発行),(c)今昔マップ 1/50,000「角田」(昭和52年修正・昭和53.11.30発行), (d)地理院地図(2021年4月1日アクセス)とともに 示す.写真16に新地町愛宕団地今昔マップ(空中写 真)を(a)地理院地図空中写真(1963.5.30撮影),(b) 地理院地図空中写真(1976.1.16撮影),(c)地理院地 図東日本大震災後正射画像(2011.5.24撮影),(d)地 理院地図空中写真(2017.6.20撮影)とともに示す.



写真 15 低い位置の墓地と斜面頂上の墓地の被害の比較 Photo 15 Comparison of graveyards damage on the lower area and on the slope top area.







図3 切土と切土上の盛土の地震応答解析の応答の差異4)

Fig. 3 Comparison of cut earth slope and response of seismic response analysis of embankment on cut earth slope.



- 図4 新地町愛宕団地今昔マップ
 - 出典: (a) 今昔マップ(左上) 1/50,000「角田」(明治 41 年測図・明治 45.5.30 発行), (b) 今昔マップ 1/50,000「角田」 (昭和 27 年応修・昭和 27.12.28 発行), (c) 今昔マップ 1/50,000「角田」(昭和 52 年修正・昭和 53.11.30 発行), (d) 地理院地図(2021 年 4 月 1 日アクセス)
- Fig. 4 Around Atago-Danchi Shinchi Town map.
 - Source: (a) Konjaku map 1/50,000 "Kakuta" (Surveyed in 1908 · Published in May 30, 1912), (b) Konjaku map 1/50,000 "Kakuta" (Emergency Revised in 1952 · Published in Dec. 28, 1952), (c) Konjaku map 1/50,000 "Kakuta" (Revised in 1977 · Published in Nov., 30, 1978), (d) Geographical Survey Inst. Map (March to April, 2021, accessed).



写真16 新地町愛宕団地今昔マップ(空中写真)

出典: (a) 地理院地図 空中写真 (1963.5.30 撮影), (b) 地理院地図 空中写真 (1976.1.16 撮影), (c) 地理院地 図 東日本大震災後正射画像 (2011.5.24 撮影), (d) 地理院地図 空中写真 (2017.6.20 撮影)

Photo 16 Around Atago-Danchi Shinchi Town (Arial photo).

Source: (*a*) Geographical Survey Inst. (Arial photo) (taken in May, 30, 1963), (*b*) Geographical Survey Inst. (Arial photo) (taken in Jan., 16, 1976), (*c*) Geographical Survey Inst. (Arial photo), Orthographic image after the 2011 Great East Japan Earthquake. (May, 24, 2011), (*d*) Geographical Survey Inst. (Arial photo) (taken in June, 16, 2017).

図4(*d*)と写真16(*d*)に住宅の棟部分に損傷が多数 発生した地域,転倒・移動の少なかった低い位置の 墓地と転倒・移動の多数発生した斜面頂上の墓地の 被害の位置を示した.

写真14の道路を挟んで損傷が軽微な地域と住宅 損傷が多数発生した地域の住宅は写真15からとも に東北地方太平洋沖地震前後に建設されたものと思 われる.特に多数発生した地域の住宅は震災後の住 宅と思われる.当該地域は,図4の今昔マップから 昭和50年(1975年)代以降から,造成が行われている.

写真 16から斜面頂上の墓地の被害は,1963年以前から存在し,低い位置の墓地は1976-2011年の間に設置されたものである.以上から昭和 50年(1975年)代以降の道路建設に伴い,設置されたものと思われる.

3. 宮城県沖の地震

3.1 塩竈市芦畔町法面崩壊

上記調査後,岩手県大船渡市へ移動中,3月20日 18:09頃宮城県沖の地震発生に遭遇,三陸道の石巻 市内を移動していたが高速道路上で全く地震を感じ なかった.急遽,予定を変更し,宮城県塩釜市崩壊 地点の調査を計画し,3月22日に塩竈市芦畔町の法 面崩壊現地に到着した.

地質図 Navi¹⁾によると当該地域は第四紀完新世の 埋立て地砂礫および砂で,崩壊現場は宮城県塩竈市 芦畔町で土砂災害警戒区域等指定箇所(塩竈市)²⁾の 10番に相当する(図5).法尻周辺住民へのヒアリン グによると「45年ほど前に造成工事が行われ,斜面 は緩勾配とせず,モルタル処理で行われた.3月20 日の地震前にモルタル面が膨れている変状があっ た.崩壊は地震発生直後に生じた(写真17)」、2月 14日福島沖地震後,亀裂がはいっていたとの報道も あるが,未確認である.

法面上部の住宅は土砂災害警戒区域等指定箇所が 平成 22 (2010)年調査には法面上部家屋が存在せず, 2013年の Google ストリートビューにも法面上部の 家屋が存在しないので,2013年以降建設されたも のと考えられる(図5).

剥離面には,水抜き孔と一回り小さいアンカー孔 が存在し,アンカー孔の間隔は2m程である(写真 18,19).剥離面の北側(向かって右手)のモルタル 切断面(10 cm)と背後地盤との間に5 cm程の空隙が みられる.剥離面の南側(向かって左手)のモルタル 切断面と背後地盤との間の空隙と雑草の根が伸びて いる.法面上部は住宅建設時と思われるコンクリー トでの補強が施されている(写真20).

4. まとめ

- 4.1 福島県松川浦法面崩壊
- (1) 法面における微生物の作用の可能性と危険性が 顕になった可能性が示唆される.そこで本研究 では、雑菌の混入に十分注意し、変色面を持つ 箇所とそれ以外の箇所からサンプリングを実施 した.
- (2)今回の地震では、東日本太平洋沖地震(2011)の 直後に調査した松川浦大橋西側の切土法面にお いても東側同様に崩壊が生じていたことから、 西側切土法面においても同じ条件でサンプリン グを実施し、すべてのサンプルで珪藻が数多く 観察された。
- (3) 褐色部にはバイオフィルムと見られる炭素の ネットワーク構造や針状の硫黄化合物の存在が 観察された.なお、これらの構造は褐色部以外 では確認されなかった.
- (4) バイオフィルムの存在は、その場所に多くの原 核生物が生息していることを意味する.した がって、微生物が岩の崩落に関わっている可能 性は高い.
- 4.2 福島県相馬郡新地町被害
- (1) 新地町では、切土上の盛土の造成地点での被害 であることも推測される.
- (2) 道路を挟んで損傷が多かった地域は瓦に対し、 自然地盤を切土したと思われるスレート屋根の 地域は殆ど被害はない.液状化痕跡は見られな かった.
- (3) 斜面頂上の墓地は低い位置の墓地に比べ被害が 大きい.

4.3 宮城県塩竈市芦畔町法面崩壊

- 崩壊現場は宮城県塩竈市芦畔町で土砂災害警戒
 区域等指定箇所(塩竈市)の10番目付近に相当 する.
- (2) 法尻周辺住民へのヒアリングによると「45 年ほど前に行われ、斜面は緩勾配とせず、モルタル処理で行われ、法面上部の住宅は、2013 年以降建設されたものと考えられる。



- 図5 土砂災害警戒区域指定告示資料:塩竈市(左)と地理院地図;2013,2019(右)
- Fig. 5 Sediment disaster warning area designation notification document for Shiogama City (Left) and Geographycal Survey Inst. Map 2013, 2019 (Right): Red circle is a collapsed point.



写真17 崩壊状況 3月20日18:21 近隣住民が撮影 **Photo 17** Collapsed point (photo. taken at 18:21, March 20, Courtesy by resident).



写真18 アンカー孔痕と水抜き孔痕 Photo 18 Anchor hole marks and drain hole marks.



写真 19 左・右側モルタル切断面と背後地盤との間の状況 Photo 19 Both sides close up of the mortar sections and rear soils.



写真 20 法面上部:コンクリートでの補強あり **Photo 20** Upper slope: There is concrete reinforcement.

- (3) 宮城県沖の地震発生前にモルタル面が膨れてい る変状ありとの周辺住民からの情報.
- (4) 崩壊は地震発生直後に発生した.
- (5) 剥離面には、アンカーの孔があり、間隔は2m 程度で、剥離面のモルタル切断面と背後地盤と の間の空隙と雑草の根が伸びている状態であっ た.

参考文献

- 1) 地質図 Navi (gsj.jp)
- 2) 崩壊現場は宮城県塩竈市芦畔町で土砂災害警戒

区域等指定箇所.

https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/sabomizusi/ kasyo-shiogama.html

- 3) 内閣府(令和3年2月22日発表):福島県沖を震 源とする地震に係る被害状況等について.」
- 4) 地盤工学会:実務者シリーズライブラリー5, 切土の裏面の調査・設計から施工まで.

(2021年6月25日原稿受付,

2021年7月15日改稿受付,

2021年7月15日原稿受理)

要 旨

2021年福島県沖の地震にて松川浦大橋東側では,海岸段丘を利用した道路法面が崩壊した.この地 点は2011年東北地方太平洋沖地震においても松川浦大橋西側で崩壊が生じている.筆者らは,当該崩 壊面が褐色に変色していることに着目し,層理面には多くの微生物が蔓延っている状態で,今回の地 震をきっかけに法面崩壊が生じたと考え,サンプリングを行った.崩壊面の褐色部には硫黄化合物の 存在が観察されたため,その場所に多くの原核生物が生息していることを意味する.したがって,微 生物が岩の崩落に関わっている可能性は高いとの見地を得た.宮城県沖の地震によって住宅被害が発 生した新地町においても,住宅被害と法面の状況との関係を調査した.また,3月20日の宮城県沖の 地震に遭遇したため,塩釜崩壊地点調査結果を示す.

キーワード: 2021 年福島県沖の地震, 2021 年宮城県沖の地震, 法面被害, 松川浦, 新地町, 塩竈