

# 2021年2月福島県沖地震による常磐道法面災害

## 静的二次元安定解析による崩壊メカニズムの一考察

基礎地盤コンサルタンツ(株) ○江 藤 崇  
基礎地盤コンサルタンツ(株) 杉 山 直 人  
東日本高速道路(株) いわき管理事務所 高 橋 廣 佑

### 論文要旨

2021年2月13日23時08分頃、福島県沖を震源とする最大震度6強・マグニチュード7.3の地震が発生した。この地震により、常磐自動車道下り線(仙台方向KP.268.9)の切土法面が崩壊した。この法面崩壊は、強震が原因で発生したと推察できる一方、同一法面内においても、崩壊したエリアと崩壊しなかったエリアが存在するという特徴があった。この2つのエリアの違いは、背後地形や土破りが異なっていたことである。

ここでは、同一法面においても、背後地形や土破りの影響によりすべり面強度に差異を生じた結果、地震時の切土法面の崩壊メカニズムに影響を及ぼすのではないかとという点に着目した。そこで、崩壊面から崩壊面層準である軟質な凝灰岩(砂混じりシルト)を試料として採取し、一面せん断試験を行い残留強度と完全軟化強度を求めた。さらに、ボーリング調査結果等に基づき崩壊面層準の状態を評価し、残留強度又は完全軟化強度をすべり面強度に設定した静的二次元安定解析を行い、地震時の切土法面の崩壊メカニズムに関する一考察を行った結果を報告する。

キーワード：切土法面、地震動、レベル2地震動、すべり面強度、静的二次元安定解析

### まえがき

調査地では、対象地震動により、同一法面内においても、崩壊したエリアと崩壊しなかったエリアが存在した。当該切土法面の立地環境を整理すると、すべり面強度の違いが地震時の切土法面の崩壊メカニズムに影響を及ぼすのではないかと考えられた。そこで、静的二次元安定解析手法を用いて、その考察を試みた。

本考察は、東日本高速道路(株)いわき管理事務所様から委託を受けた、被災後の調査及び復旧設計の内容を取りまとめたものである。

## 1. 法面災害の概要

### (1) 地形・地質的特徴

調査位置図を図-1に示す。調査地周辺の地形は、西から東に延びる標高40~90m程度の尾根状地形とその間の谷底低地から成る。常磐道は概ね南北方向に伸びており、調査地は切土法面である。

調査地の地質は、暗灰~暗灰青色を呈す新第三系鮮新統のシルト・泥岩を基とし、凝灰岩薄層を挟在する構成である。対象切土法面は下り線に位置し、本線に対して流れ盤構造を有す。また、シルト・泥岩と凝灰岩は、何れも風化が速い特徴がある。

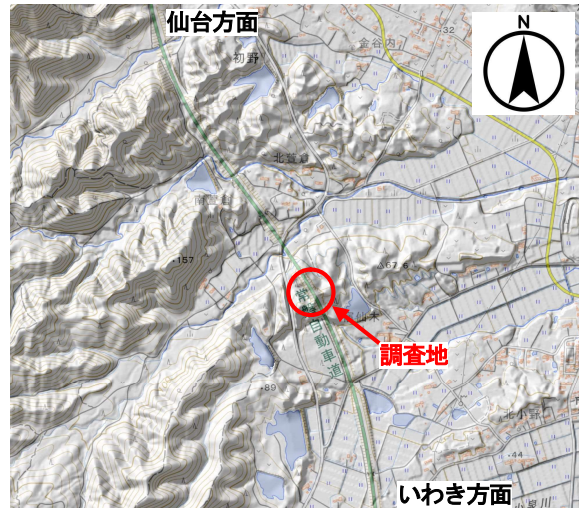


図-1 調査位置図<sup>1)</sup>

### (2) 法面災害の概要

法面災害の発生状況写真を写真-1に示す。



写真-1 法面災害の発生状況<sup>2)</sup>

法面災害は、延長約 220m の切土法面区間 (法面勾配 1 割) の中間において、幅約 70m、高さ約 15m、奥行き約 10m の規模で発生した。崩壊跡には、不陸のない一様な平坦面から成る崩壊面が露出し、崩壊面と地山の境界付近に露出した風化岩は、褐色化し軟質な部分がほとんどであった。

## 2. 崩壊メカニズムの再現解析の方法

崩壊メカニズムの再現解析は、静的二次元安定解析手法を用いた。計算式は NEXCO 設計要領<sup>3)</sup>に準拠し、Fellenius 法 (簡便法) を用いた。地震時は、計算式に設計水平震度を考慮し、安定状態を再現した。また、すべり面強度は、崩壊面から崩壊面層準である軟質な凝灰岩 (砂混じりシルト) を試料として採取し、一面せん断試験から求めた完全軟化強度と残留強度を設定した。

## 3. 解析条件

解析断面位置図を図-2、解析断面図を図-3~4、解析条件一覧を表-1 に示す。なお、図-2 に示す地形図は、崩壊後に簡易整形した状態を表す。

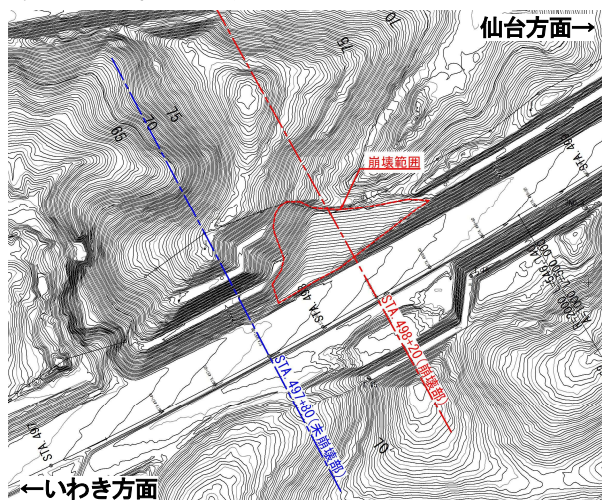


図-2 解析断面位置図

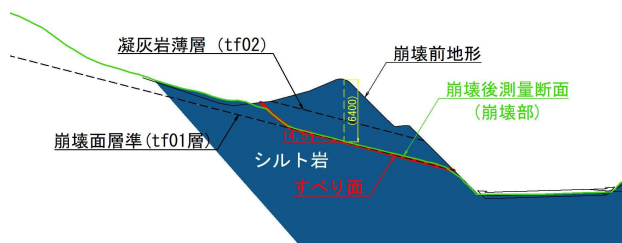


図-3 STA. 498+20 断面 (崩壊部)

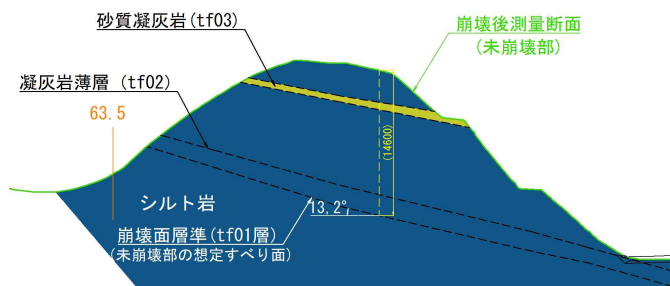


図-4 STA. 497+80 断面 (未崩壊部)

解析断面は、崩壊部と未崩壊部の 2 断面を設定した。設計地震動は、レベル 1 地震動、レベル 2 地震動・タイプ I を想定した。すべり面強度のうち、残留強度は、風化や過去のすべり活動等により、強度低下を受けた状態を表す。逆に、完全軟化強度は、風化や過去のすべり活動等の影響が小さく、強度低下を受けていない状態を表す。これを踏まえて、各解析断面のすべり面強度は、以下のとおり設定した。崩壊部は、崩壊面の状態より、崩壊面層準の凝灰岩が軟質化していたことから残留強度を設定した。一方、未崩壊部は、ボーリング調査結果より、同層準に軟質化が見られなかったことから完全軟化強度を設定した。地下水位は、地震発生前の 1 週間程度、調査地周辺で降水記録が無かったため、すべり面より下位と判断した。

表-1 解析条件一覧

項目	設定内容	設定根拠	
解析断面	STA.498+20	崩壊部	
	STA.497+80	未崩壊部	
計算式	Fellenius 法 (簡便法)		
耐震設計上の地盤種別	I 種		
設計水平震度	レベル 1	$k_{hg}=0.16$	
	レベル 2・タイプ I	$k_{Ihg}=0.50$	
崩壊土塊の単位体積重量	$\gamma=16.4(\text{kN/m}^3)$	室内密度試験値の平均値	
すべり面強度	残留強度	$c'=19.0(\text{kN/m}^2)$ $\phi'=26.0(\text{度})$	崩壊部
	完全軟化強度	$c'=50.8(\text{kN/m}^2)$ $\phi'=34.9(\text{度})$	未崩壊部
地下水位	想定すべり面より下位に設定		

## 4. 解析結果

解析結果を表-2 に示す。

解析は、解析断面ごとに、常時、レベル 1 地震動及びレベル 2 地震動・タイプ I の 3 ケースで行った。

解析結果より、常時及びレベル 1 地震動の状態では、崩

壊部及び未崩壊部ともに法面安定度は高く、崩壊を生じる可能性は低かったと考えられる。また、未崩壊部は、レベル2地震動でも法面安定度が高い傾向が見られた。一方、崩壊部は、レベル2地震動において、法面安定度がほぼ極限平衡状態まで低下し、崩壊を生じる可能性があることを示唆している。

表-2 解析結果一覧

解析断面		STA. 498+20 (崩壊部)	STA. 497+80 (未崩壊部)
		すべり面強度	
項目		残留強度	完全軟化強度
安全率	常時	2.969	4.239
	レベル1地震動	1.864	2.570
	レベル2地震動・タイプ1	1.002	1.345

## 5. 考察

### (1) 対象地震動の規模

調査地周辺の地震観測所における最大加速度値を図-5に示す。調査地最近傍の相馬観測所(K-NET 相馬)では、最大加速度586.1gal(NS, 地表面)を記録している。これは、水平震度に換算すると0.58程度で、レベル2地震動相当を示す。

また、震源に近い沿岸エリアでは、最大加速度500gal以上の強震を記録している。一方、震源から離れた内陸では、430~260gal程度である。調査地は、新第三系鮮新統のシルト・泥岩が分布するが、相馬観測所周辺は、未固結層(河川堆積物)が分布する。単純な比較はできないものの、少なくとも未固結層に比べて岩盤は、地盤を伝わる振動の振幅は小さくなり加速度が大きくなる傾向があるため、調査地は観測所での観測値よりも最大加速度が大きかった可能性がある。したがって、崩壊部は、安全率が1.0を下回り、崩壊したと推察される。

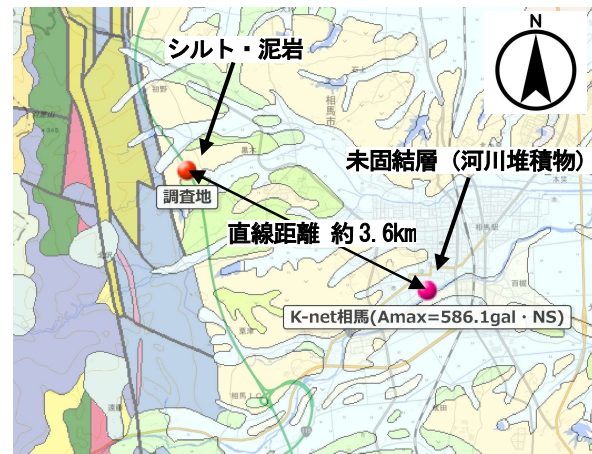


図-6 調査地周辺の地質状況<sup>4)</sup>

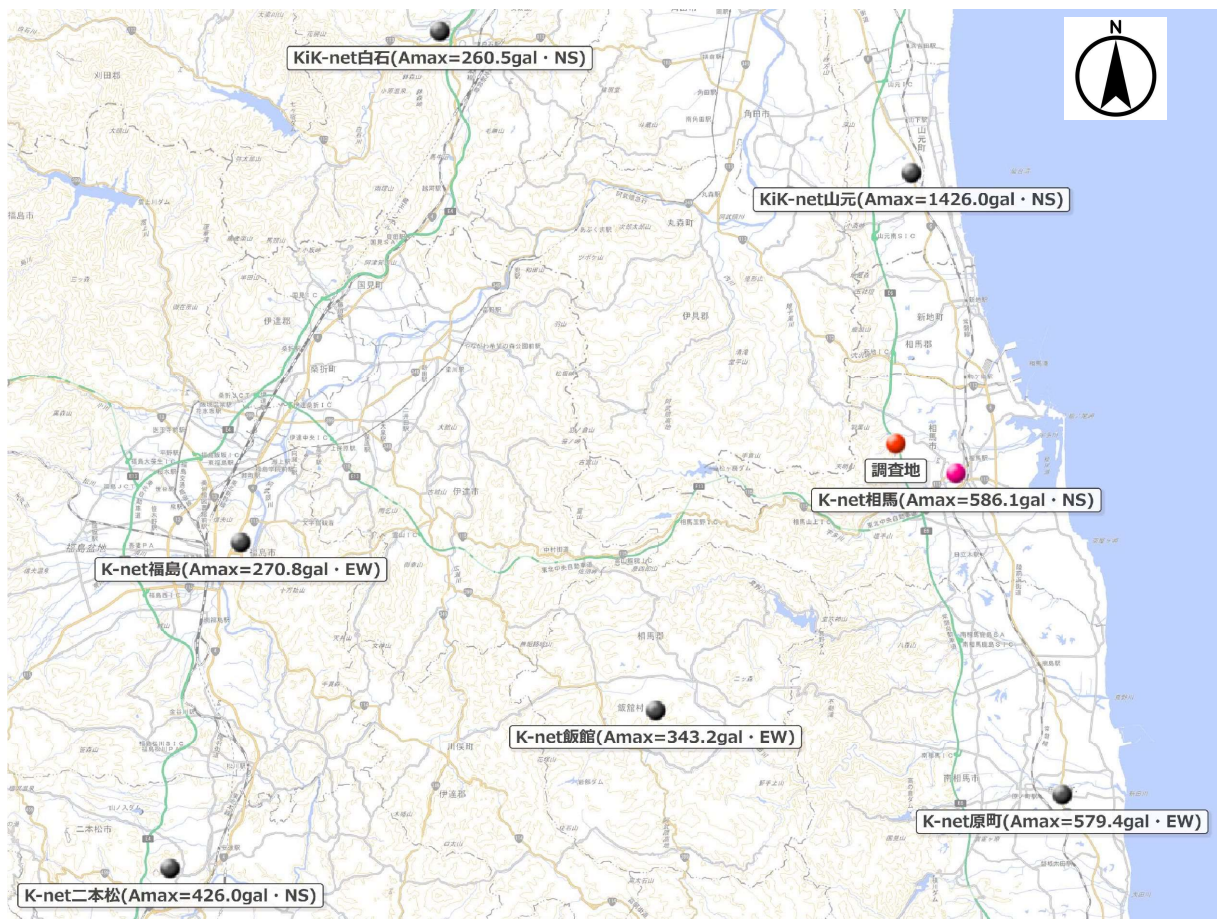


図-5 調査地周辺の最大加速度値<sup>1)</sup>

## (2) 崩壊部と未崩壊部の相違

調査地では、同一法面内においても、崩壊したエリアと崩壊しなかったエリアが存在した。調査地の崩壊部と未崩壊部の相違は、崩壊面層準が軟質化していたかどうかである。この相違が生じた原因として、背後地形と土被りの違いが挙げられる。すなわち、崩壊部の背後は谷地形を呈し、崩壊面層準より上位の最大土被りは約 6m であった。未崩壊部は尾根地形を呈し、最大土被りは約 15m である。また崩壊部では、凹地とすべり面の頭部が概ね一致している。したがって、表流水が浸入しやすい環境で風化作用が進行し、すべり面強度が今回の一面せん断試験結果から得られた残留強度程度まで低下していたと考えられる。逆に、未崩壊部は風化作用の影響を受けにくく、すべり面強度は完全軟化強度程度を保持していると考えられる。

(<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php>) を使用し、基礎地盤コンサルタンツ(株)が位置情報を加筆修正。

## 6. まとめ

解析結果及び考察に基づき、本稿をまとめると以下のとおりである。

- 調査地は、対象地震動により最大加速度 500gal 以上の強震だった可能性が高い。
- また、ボーリング調査結果に基づく崩壊面層準の軟質化の違いを考慮し、すべり面強度を評価した。
- その結果、解析結果と実際の崩壊メカニズムは概ね整合した。
- 以上の考察を踏まえ、風化しやすい地質や地震・地すべり活動等の影響を繰り返し受け、すべり面強度の低下が懸念される切土法面では、レベル 2 地震動相当の強震を受けた際に、崩壊を生じる可能性が高い箇所として留意しておくべきである。

## あ と が き

本考察が、地震動に対する切土法面の事前防災の取り組みの一助となれば幸いである。

最後に、東日本高速道路(株)いわき管理事務所関係者各位には業務遂行に際して多大なるご厚意とご配慮を頂きました。また本報告にあたり、快く承諾を頂きました。ここに深く感謝申し上げます。

## 参考文献(または引用文献)

- 1) 地理院地図(陰影起伏図併記)を使用し、基礎地盤コンサルタンツ(株)が位置情報を加筆修正。
- 2) 東日本高速道路(株)提供写真を使用し、基礎地盤コンサルタンツ(株)が旗揚げを加筆修正
- 3) 東日本・中日本・西日本高速道路(株)(編)(2020). 設計要領 第一集 土工, pp.2-25~2-26.
- 4) 産総研地質調査総合センターウェブサイト