

原子力発電所及び再処理施設の外部電源における
送電鉄塔基礎の安定性評価について

平成24年2月17日
東京電力株式会社

1．はじめに

当社は、平成 23 年 4 月 15 日、経済産業省原子力安全・保安院より、「原子力発電所及び再処理施設の外部電源の信頼性確保について」の指示文書を受領したことから、当社柏崎刈羽原子力発電所、日本原子力発電株式会社の東海第二発電所、及び独立行政法人日本原子力研究開発機構の核燃料サイクル工学研究所（東海再処理施設）について、外部電源の信頼性の確保に係る対応について取りまとめ、5 月 16 日に同院へ報告書を提出した。

上記報告書については、同院より、内容が妥当であると評価されたが、併せて福島第二原子力発電所における外部電源の信頼性確保に係る対応について、同発電所における設備復旧状況、原子炉の冷温停止状態を維持するために必要な緊急安全対策の実施状況等を踏まえて報告するよう指示を受け、同発電所の原子炉の冷温停止状態を維持することを目的とした外部電源の信頼性確保に係る対応について取りまとめ、7 月 7 日に同院に報告書を提出した。

上記の報告書において、原子力発電所の外部電源線について、耐震性、地震による基礎の安定性等に関するリスク評価を実施することとなっていたことから、これらの状況について報告する。

2．基礎の安定性評価方法について

一般に、送電線ルートは、ルート選定の段階から地すべり地域等を極力回避しており、地震による鉄塔敷地周辺の影響による被害の最小化を図っている。また、やむを得ずこのような地域を経過する場合には、個別に詳細調査を実施し、基礎の安定性を検討して基礎型を選定する等の対策を実施している。

しかしながら、今回の地震において鉄塔敷地周辺の影響による二次的被害による鉄塔倒壊が発生していることから、更に送電設備の信頼性を向上させるため、鉄塔敷地周辺の影響による基礎の安定性について検討する。

(1) 評価項目

鉄塔倒壊を引き起こす二次的要因としては、今回の福島第一原子力発電所構内で発生した地震による盛土崩壊の他に、地すべり、急傾斜地の土砂崩壊が考えられる。そこで、以下の 3 項目について評価を行う。

盛土の崩壊

送電鉄塔近傍に大規模な盛土がある箇所を抽出し、リスクを評価する。

地すべり

地すべり防止区域、地すべり危険箇所、地すべり地形分布図をもとに地すべりの可能性がある箇所を抽出し、リスクを評価する。

急傾斜地の土砂崩壊

急傾斜地で土砂崩壊が発生する可能性がある箇所を抽出し、リスクを評価する。

(2) 評価対象線路と基数

原子力発電所	対象線路名	対象基数
柏崎刈羽原子力発電所	500kV 新新潟幹線	214基
	500kV 南新潟幹線	201基
東海第二発電所 核燃料サイクル工学研究所	275kV 東海原子力線	44基
	275kV 原研那珂線	4基
	154kV 原子力線	8基
	154kV 村松線	38基
	154kV 村松北線	1基
福島第二原子力発電所	500kV 富岡線	21基
	66kV 岩井戸線	3基

3. リスク評価結果

(1) 盛土の評価

盛土リスク箇所の対象としては、基本的に、今回の検討の発端となった夜の森線周辺で発生した盛土崩壊箇所¹と同程度の規模の盛土とし、更なる安全性向上の観点から、それよりも小規模な盛土についても対象とした。

対象箇所の抽出に当たっては、送電線及びその周辺の地形状況が記載されている実測平面図²ならびに国土地理院発行の地形図(1/25,000)等を使用して、人工的に土地の改変が加えられた箇所及び送電線路周辺で発生した盛土に関する送電線の保守記録、発電所内の造成図面や記録等を確認し、漏れの無いよう盛土箇所を抽出した。

その結果として、500kV 新新潟幹線で1箇所、500kV 南新潟幹線で3箇所、275kV 東海原子力線で2箇所を抽出した。

これらの盛土は、以下の状況の盛土であった。

東海原子力線 7 鉄塔周辺のJR常磐線の盛土

東海原子力線 1 7 鉄塔周辺の道路造成による盛土

新新潟幹線 2 鉄塔周辺の柏崎刈羽原子力発電所建設時の造成工事に伴う盛土

- 南新潟幹線 1 鉄塔周辺の柏崎刈羽原子力発電所建設時の造成工事に伴う盛土
- 南新潟幹線 2 鉄塔周辺の柏崎刈羽原子力発電所建設時の造成工事に伴う盛土
- 南新潟幹線 5 鉄塔周辺の柏崎刈羽原子力発電所建設時の造成工事に伴う盛土

これら抽出した6箇所の盛土は、夜の森線周辺で発生した盛土崩壊箇所と比較して小規模であるが、現地状況を詳細確認し、当該盛土の立地状況や形状・規模、鉄塔との距離等を確認し、盛土が鉄塔に近接する南新潟幹線 2 および南新潟幹線 5 については、『道路土工 - 盛土工指針 ((社)日本道路協会 平成22年4月)』に基づく安定計算を実施した。また、夜の森線周辺の盛土崩壊の原因³に鑑み、盛土が造成された箇所の原地形や地下水位の状況、施工状況などについて確認を行い、以下のとおり基礎の安定性に影響ないと判断した。

東海原子力線 7 鉄塔周辺のJR常磐線の盛土は、高さ約8m、鉄塔脚から約10m離れており、仮に崩壊したとしても当該鉄塔への土砂流入はない。

東海原子力線 17 鉄塔周辺の道路盛土は、高さ約2mといずれも小規模であり、仮に崩壊したとしても当該鉄塔への土砂流入はない。

柏崎刈羽原子力発電所構内の南新潟幹線 2 周辺の盛土は、高さ約12mの盛土であり、鉄塔脚からの距離が約6mであることから、『道路土工 - 盛土工指針』に基づく安定性評価を行った結果、斜面は安定性を有していることを確認した。また、盛土内部に地下水位は存在するものの、夜の森線周辺の盛土のように沢を埋めたものでなく、旧表土を一度掘削した後、締め固められた盛土であることを確認した。さらに、平成19年の東日本大震災による非常に大きな地震動を受けているにもかかわらず崩壊が発生していないことから地震動に対して十分な安定性を有していると判断した。

柏崎刈羽原子力発電所構内の南新潟幹線 1 周辺の盛土は、高さ約8m、鉄塔脚から約14m離れており、仮に崩壊したとしても当該鉄塔への土砂流入はない。

柏崎刈羽原子力発電所構内の南新潟幹線 2 周辺の盛土は、最大のもので高さ約15mであるが、鉄塔脚から40m以上距離が離れていることから、仮に崩壊したとしても当該鉄塔への土砂流入はない。

柏崎刈羽原子力発電所構内の南新潟幹線 5 周辺の盛土は、高さ約 17 m であり、鉄塔脚に近接しているため、『道路土工 - 盛土工指針』に基づく安定性評価を行った結果、斜面は安定性を有していることを確認した。また、盛土内部に地下水位は存在するものの、夜の森線周辺の盛土のように沢を埋めたものでなく、旧表土を一度掘削した後、締め固められた盛土であることを確認した。さらに、平成 19 年の中越沖地震による非常に大きな地震動を受けているにもかかわらず崩壊が発生していないことから地震動に対して十分な安定性を有していると判断した。

- 1) 夜の森線周辺の盛土は、沢埋めの高さ 30m 程度の高盛土である。
- 2) 実測平面図は送電線を中心に左右 100m の周辺状況を図面化したものであり、定期巡視あるいは定期的な図面訂正により、線路周辺状況を管理している図面。なお、国への許認可・届出手続きの添付図面としても使用している。
- 3) 推定される盛土の崩壊原因は、沢を埋めた盛土中に地下水位が存在する状況において、史上稀にみる強くて長い地震動の繰り返し応力が作用したことにより地下水位内の地盤強度が低下したことによるものと考えられる。

対象線路名	現地踏査	崩壊の影響なし	詳細調査が必要	詳細調査結果
5 0 0 kV 新新潟幹線	1 基	-	1 基	基礎安定に影響なし
5 0 0 kV 南新潟幹線	3 基	2 基	1 基	基礎安定に影響なし
2 7 5 kV 東海原子力線	2 基	2 基	-	基礎安定に影響なし
2 7 5 kV 原研那珂線	0 基	-	-	-
1 5 4 kV 原子力線	0 基	-	-	-
1 5 4 kV 村松線	0 基	-	-	-
1 5 4 kV 村松北線	0 基	-	-	-
5 0 0 kV 富岡線	0 基	-	-	-
6 6 kV 岩井戸線	0 基	-	-	-

(2) 地すべりの評価

地すべりについては、送電線ルート選定の段階から、地すべり地域等を極力回避するルートを選定しているが、当社では社内外の地すべりによる被害に鑑み、地すべりのリスク評価を平成 17 年より実施していたため、この結果を再評価することでリスク評価を行った。

まず、地すべり防止区域（地すべり等防止法）、地すべり危険箇所（地方

自治体指定)及び地すべり地形分布図((独)防災科学技術研究所)から対象鉄塔を抽出した後、さらに、『道路土工・切土工・斜面安定工指針((社)日本道路協会 平成21年6月)』に示されている「地すべり型による地形図及び写真判読のポイント」を参考に、空中写真判読によって、地形勾配、地形形状、地形状況を確認し、地すべり地形と離隔距離が100m以下の鉄塔として61基を抽出した。

この61基について、地質、地盤、斜面崩壊等に関する専門知識とともに土質調査や土木施工など、地質に関する様々な知見を有する地質専門家により現地踏査を実施し、詳細な地形、地質、変状等の情報を収集した。

踏査にあたっては、調査の対象とする地区に対して可能な限り見通しの良い正面または側面から全体の地形、勾配、傾斜変換線の位置等を確認して、地すべり地の概略を把握するとともに、地すべり地内における地形状況、露岩分布状況、移動土塊の状況、地表面の変状、構造物の変状の有無等について確認した。

地すべりの安定性については、『道路土工・切土工・斜面安定工指針』における「地すべりの安定度判定一覧表」を参考に、地質専門家の意見をふまえて評価を行った。

上述の現地踏査で収集した地すべりの変状、地形特性に基づき、各鉄塔を評価した結果、地すべり地形内にある鉄塔が2基(新新潟幹線2基)、地すべり地形近傍にある鉄塔が11基(南新潟幹線6基、新新潟幹線5基)確認されたが、これら地すべり箇所については、現時点で地すべりによる変状はないため、緊急的な保全対策は必要ないと評価され、引き続き周辺地盤の変状を重点的に監視していく。

対象線路名	現地踏査	地すべり地形内	地すべり地形近傍	地盤変状の有無
500kV 新新潟幹線	28基	2基	5基	無し
500kV 南新潟幹線	33基	-	6基	無し
275kV 東海原子力線	0基	-	-	-
275kV 原研那珂線	0基	-	-	-
154kV 原子力線	0基	-	-	-
154kV 村松線	0基	-	-	-
154kV 村松北線	0基	-	-	-
500kV 富岡線	0基	-	-	-
66kV 岩井戸線	0基	-	-	-

(3) 急傾斜地の評価

急傾斜地についても、送電線ルート選定の段階から、極力回避するルートを選定しているが、送電線とその周辺の地形状況が記載されている実測平面図や国土地理院発行の地形図等を使用し、『道路土工 - 切土工・斜面安定工指針』に示されている「斜面崩壊が発生した勾配の分布」を参考に、以下の条件に該当する鉄塔を抽出した。

鉄塔近傍に30度以上の傾斜を有する斜面がある箇所

万が一、土砂崩壊があった場合、杭基礎と違い根入れが浅く影響を受け易い逆T型基礎

この結果、36基（富岡線5基、岩井戸線1基、東海原子力線3基、村松線2基、新新潟幹線25基）を抽出した。

これら36基について、地質、地盤、斜面崩壊等に関する専門知識とともに土質調査や土木施工など様々な知見を有する地質専門家により現地踏査を実施し、詳細な地形、地質、変状の情報等を収集した。踏査にあたっては、斜面勾配等の地形条件、斜面上の変状の有無、植生状況、地下水や表流水の集水条件等を調査した。

安定性の評価にあたっては、『道路土工 - 切土工・斜面安定工指針』における「表層崩壊と落石の安定性評価の目安」や「斜面崩壊対策の調査」を参考に、地質専門家の意見をふまえた評価を行った。

上述の現地踏査で収集した斜面勾配等の地形条件、地盤特性等に基づき、各鉄塔を評価した結果、崩壊や崩壊跡地が鉄塔近傍にみられた鉄塔や近接する斜面に湧水箇所がみられた鉄塔として、7基（新新潟幹線6基、東海原子力線1基）を抽出した。

これら7基について、斜面状態の確認、周辺の地盤状況の確認、過去の地震に対する被害の有無の確認等により斜面安定に関して詳細評価を行った。

この結果、東海原子力線の1基（33）は、斜面に砂岩の露頭がみられ崩壊のおそれがなく、かつ今回（平成23年）の東北地方太平洋沖地震において非常に大きな地震動を経験したにも拘わらず、地盤変状等の被害を受けていないことから問題ないと評価した。

新新潟幹線6基については、現地状況やボーリング調査等により岩盤が地表近くに位置することの確認が得られたことや、小規模な崩壊はみられるもののそれらは表層部の一部にとどまっていることなどから、斜面全体は安定しているものと評価した。また、平成16年の中越地震や今回の東北地方太平洋沖地震において非常に大きな地震動を経験しているが、地盤変状等の被害が発生していないことを確認した。これらのことから問題ないと評価した。

対象線路名	現地踏査	崩壊の 影響なし	詳細調査 が必要	詳細調査結果
5 0 0 kV 新新潟幹線	2 5 基	1 9 基	6 基	基礎安定に影響なし
5 0 0 kV 南新潟幹線	0 基	-	-	-
2 7 5 kV 東海原子力線	3 基	2 基	1 基	基礎安定に影響なし
2 7 5 kV 原研那珂線	0 基	-	-	-
1 5 4 kV 原子力線	0 基	-	-	-
1 5 4 kV 村松線	2 基	-	-	-
1 5 4 kV 村松北線	0 基	-	-	-
5 0 0 kV 富岡線	5 基	5 基	-	-
6 6 kV 岩井戸線	1 基	1 基	-	-

4.まとめ

盛土については、現地状況を詳細確認し、当該盛土の立地状況や形状・規模、鉄塔との距離等を確認するとともに、新新潟幹線 2 と南新潟幹線 5 鉄塔近傍の盛土については、『道路土工 - 盛土工指針』による安定性計算を実施した結果、安定性を有していることを確認した。

地すべりについては、地すべり地形近傍に存在する鉄塔が確認されたが、現時点で地すべりによる変状はないことから、引き続き重点的に監視していく。

鉄塔近傍に存在する急傾斜地については、小崩壊や崩壊跡地等がみられた鉄塔が確認されたが、現時点で斜面全体としては安定しており、過去や今回の地震でも被害が発生していないことから、問題ないと評価した。

なお、過去の地震や今回の地震において、送電線の機能に影響はなかったが斜面が崩壊したことで、基礎や斜面の補修等を実施した事例があった。

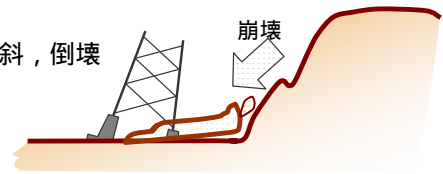
急峻な山岳地で豪雪地帯に位置する新新潟幹線に同様な被害があった場合の対応は容易でないことが想定されることから、このような教訓をふまえ、風化した岩が厚く堆積した 1 7 9、及び鉄塔の脚部近傍の斜面に小規模な崩壊跡のみられた 1 9 3 については、将来的な風化の影響も考慮し、必要により長期的な予防保全策を検討する。

以 上

基礎安定性評価項目

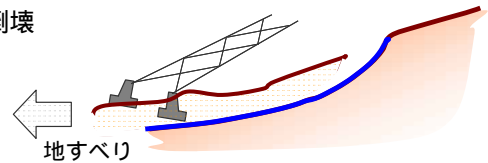
盛土の崩壊

【リスク】 盛土の崩壊に伴う土塊の流れ込みによる鉄塔傾斜，倒壊
送電鉄塔近傍に大規模な盛土がある箇所を抽出し，リスク評価をする。



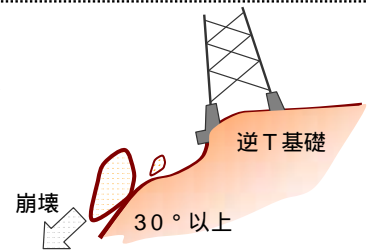
地すべり

【リスク】 鉄塔を巻込んだ地すべりによる鉄塔傾斜，倒壊
地滑り防止地区，地滑り危険箇所，地滑り地形分布図をもとに地滑り箇所を抽出し，リスク評価をする。



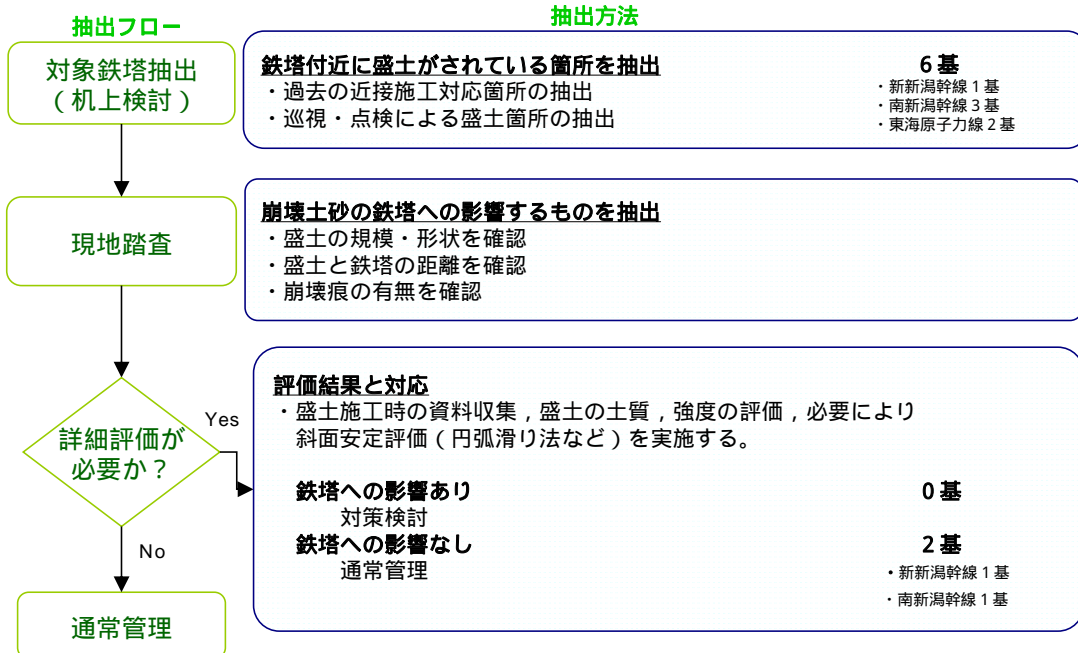
急傾斜地

【リスク】 逆T字型基礎における地盤崩壊による鉄塔傾斜，倒壊
急傾斜地（30度以上）で土砂崩壊が発生する可能性がある箇所を抽出し，リスクを評価する。



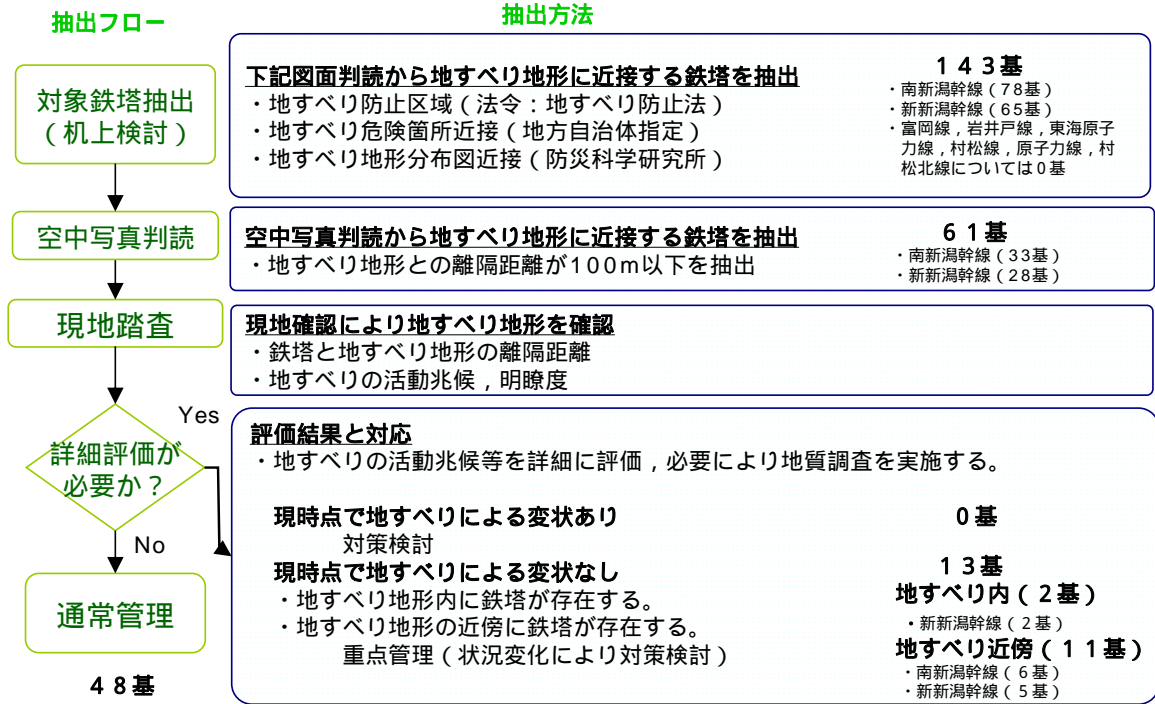
盛土のリスク評価フロー

評価対象の絞り込み



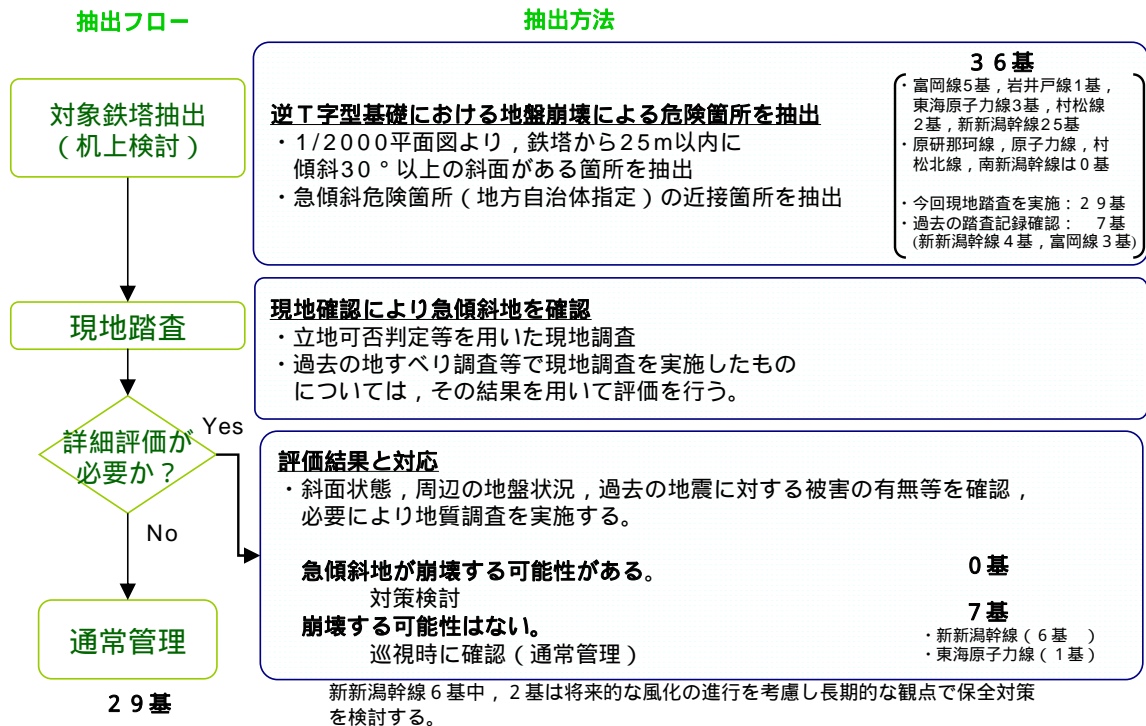
地すべりのリスク評価フロー

評価対象の絞り込み



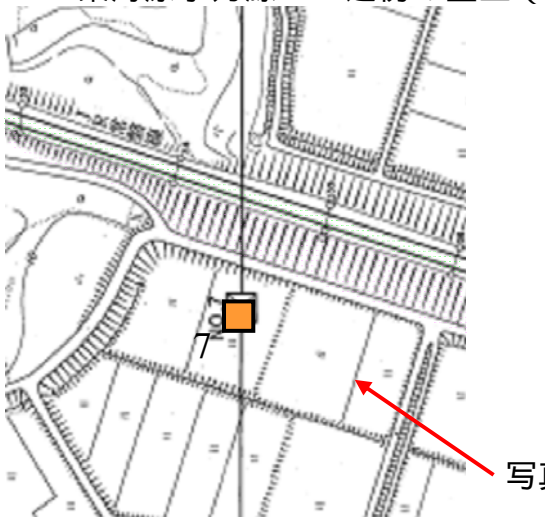
急傾斜地のリスク評価フロー

評価対象の絞り込み



東海原子力線近傍の盛土の状況

東海原子力線 7 近傍の盛土（JR常磐線の盛土）



写真撮影

盛土高：約 8 m、鉄塔脚離隔：約 10 m

東海原子力線 17 近傍の盛土（道路盛土）



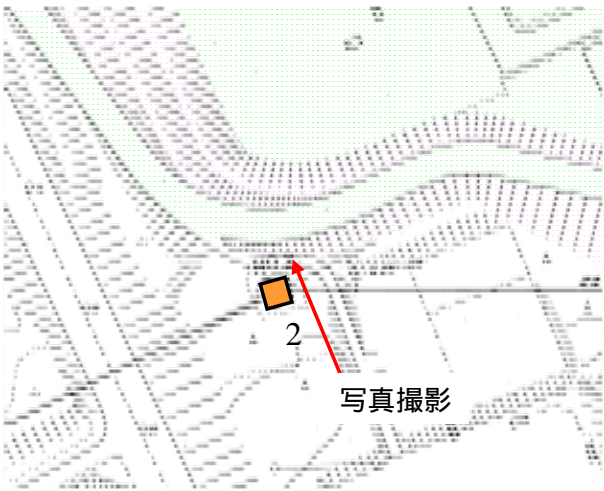
写真撮影



盛土高：約 2 m、鉄塔脚離隔：約 2 ~ 5 m

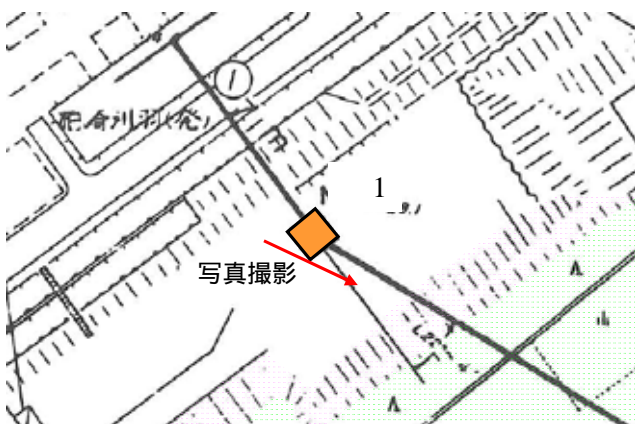
新新潟幹線、南新潟幹線近傍の盛土の状況

新新潟幹線 2 近傍の盛土



盛土高：約 1.2 m、鉄塔脚離隔：約 6 m

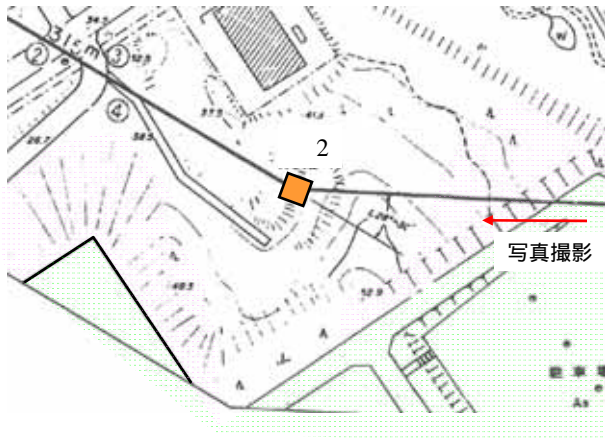
南新潟幹線 1 近傍の盛土



盛土高：約 8 m、鉄塔脚離隔：約 1.4 m

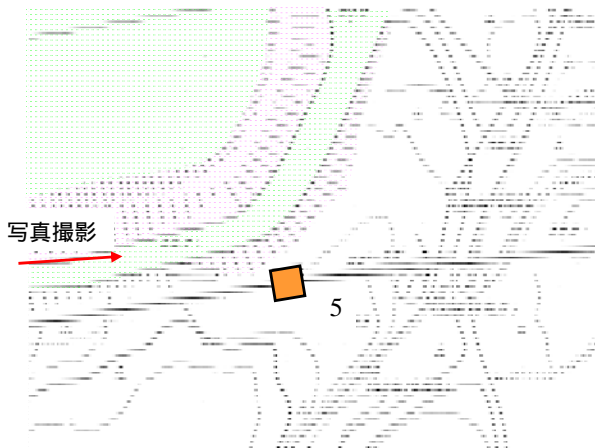
新新潟幹線、南新潟幹線近傍の盛土の状況

南新潟幹線 2 近傍の盛土



盛土高：約 1.5 m、鉄塔脚離隔：約 4.0 m

南新潟幹線 5 近傍の盛土



盛土高：約 1.7 m、鉄塔脚離隔：約 0 m

盛土の安定計算

新新潟幹線 2 および南新潟幹線 5 の近傍にある盛土について、安定計算を実施し、盛土の安定性の有無を確認した。

盛土の安定計算は、『道路土工 - 盛土工指針(社団法人 日本道路協会 平成 22 年 4 月)』にある地震動の作用に対する盛土の安定性の照査の方法に基づき、震度法による安定解析手法を用いた。

解析モデルは、平成 23 年に実施したボーリング調査および既往の地質調査結果に基づき作成した。また地盤物性値は、平成 23 年のボーリング調査による地盤種類をふまえ、既往の調査結果から得られた値を採用した。

設計水平震度については、平成 23 年のボーリング調査時に実施した P S 検層による測定結果より、地盤特性値 T_G が新新潟幹線 2 の盛土で 0.392、南新潟幹線 5 の盛土で 0.480 であったことから、耐震設計上の地盤種別を 種とした。この 種地盤のレベル 2 地震動である 0.20 に対して、地域別補正係数(新潟県は地域区分 B) 0.85 を考慮し 0.17 で評価した。

解析の結果、新新潟幹線 2 近傍盛土については最小安全率 1.560、南新潟幹線 5 近傍盛土については最小安全率 1.556 となり、いずれも安全率 1.0 以上であることから、レベル 2 地震動の作用に対して盛土の変形量は限定的なものにとどまり、基礎安定に影響はないと判断した。

(参考) 地盤種別と地盤の特性値

地盤種別	地盤の特性値 T_G
種	$T_G < 0.2$
種	$0.2 \leq T_G < 0.6$
種	$T_G \geq 0.6$

出典：「平成 21 年度版 道路土工要綱(社団法人 日本道路協会 平成 21 年 6 月)」

(参考) 設計水平震度の標準値

	地盤種別		
	種	種	種
レベル 1 地震動	0.08	0.10	0.12
レベル 2 地震動	0.16	0.20	0.24

出典：「平成 22 年度版 道路土工 - 盛土工指針(社団法人 日本道路協会 平成 22 年 4 月)」

【新新潟幹線 2 近傍の盛土の安定計算結果】

物性値

	地盤種類		単位体積重量 (kN/m ³)	せん断抵抗角 (度)	粘着力 (kN/m ²)	出典
盛土	新期砂層	1	18.9	34.5	20.0	1
盛土	安田盛土	2	16.7	28.5	14.0	1
地盤	新期砂層	3	17.0	28.0	49.0	2
		4	17.0	34.0	50.0	2
		5	17.0	36.0	50.0	2
地盤	番神砂層	6	17.0	33.0	50.0	2
		7	18.3	29.2	70.0	3

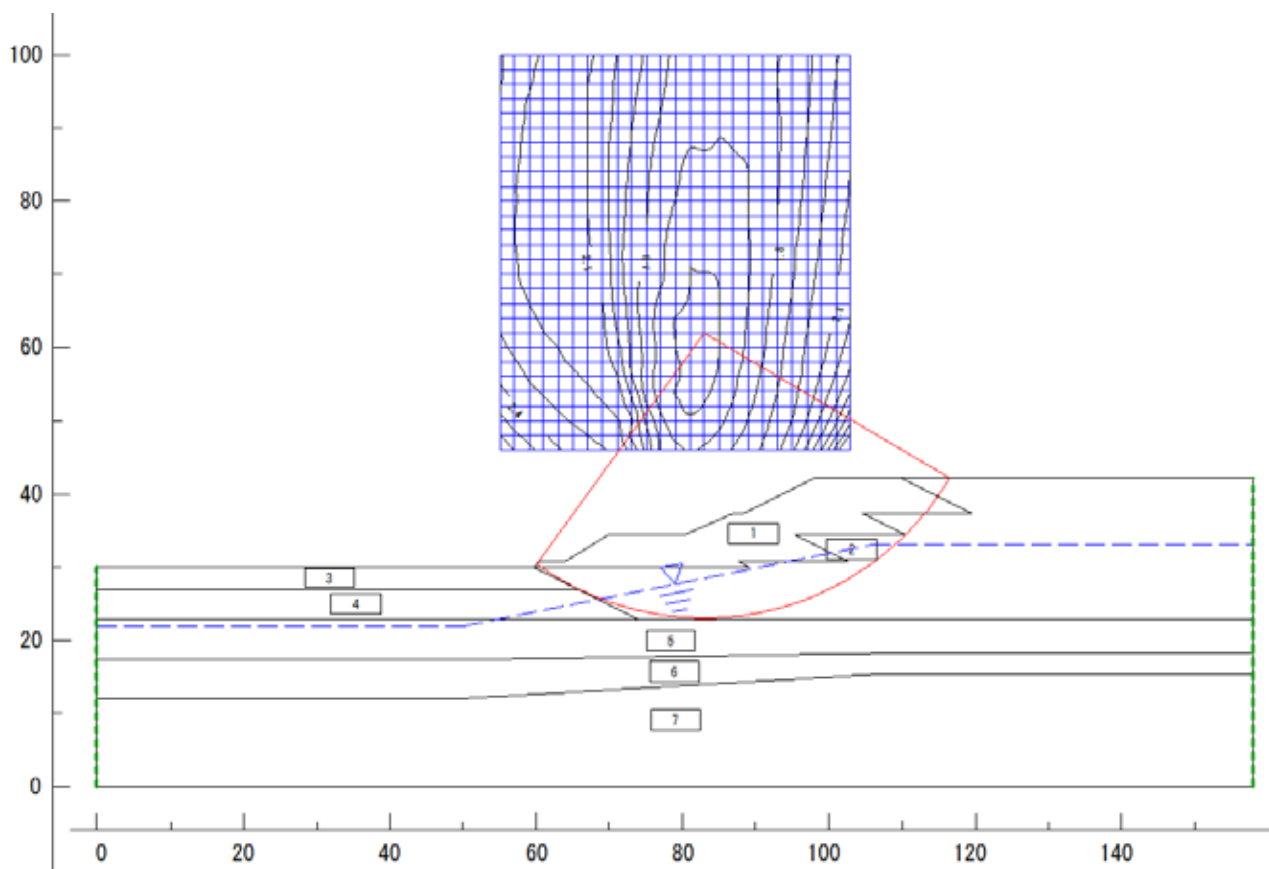
1：柏崎刈羽原子力 土木工事建設記録

2：送電線建設時に調査し蓄積されている岩盤種類毎データに基づく地盤物性値

3：柏崎刈羽原子力発電所 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改定に伴う耐震安全性評価報告書

解析結果

最小安全率 1.560



【南新潟幹線 5 近傍の盛土の安定計算結果】

物性値

	種類		単位体積重量 (kN/m ³)	せん断抵抗角 (度)	粘着力 (kN/m ²)	出典
盛土	安田盛土	1	16.7	28.5	14.0	1
盛土	新期砂層	2	18.9	34.5	20.0	1
地盤	新期砂層	3	17.0	27.0	47.0	2
		4	17.0	30.0	50.0	2
地盤	番神砂層	5	18.3	29.2	70.0	3
	安田層	6	17.5	0.0	76.0+0.69P (270 ~ 420)	3

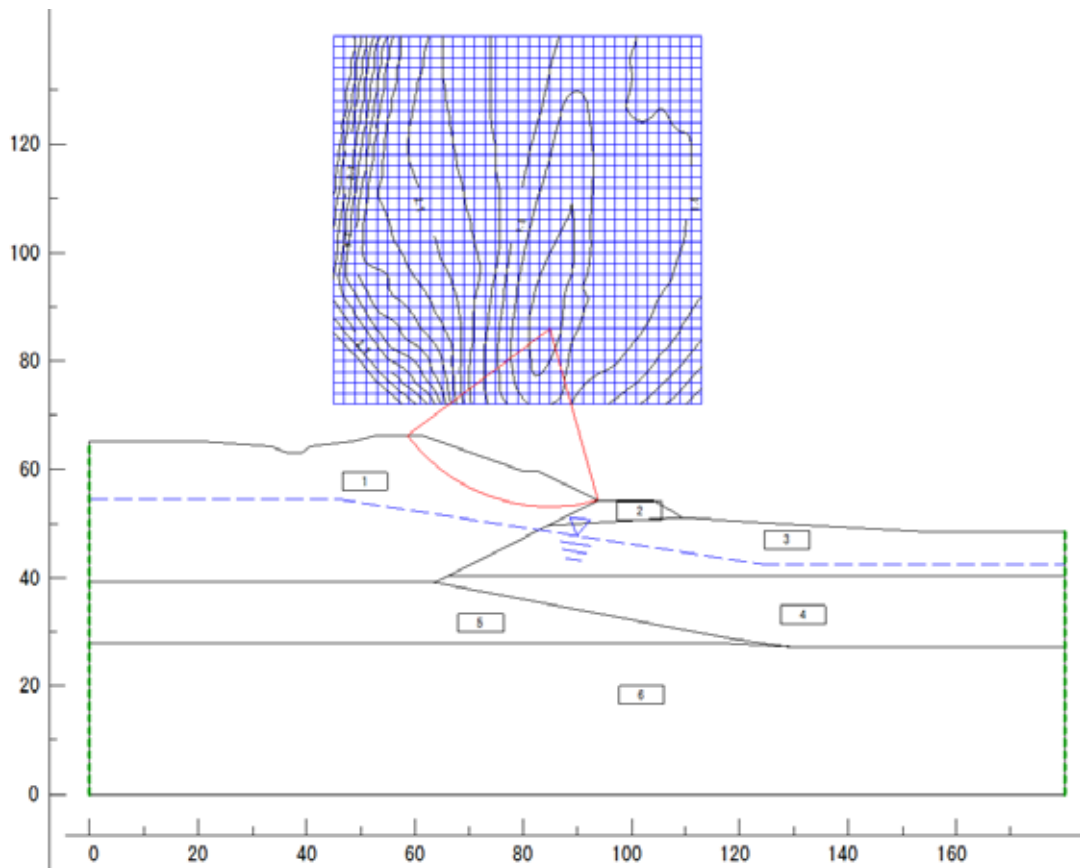
1：柏崎刈羽原子力 土木工事建設記録

2：送電線建設時に調査し蓄積されている岩盤種類毎データに基づく地盤物性値

3：柏崎刈羽原子力発電所 「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改定に伴う耐震安全性評価報告書。P は地下水位を考慮した圧密圧力を示す。

解析結果

最小安全率 1.556



基別一覧表

対象線路名	現地踏査鉄塔	盛土		地すべり			急傾斜地	
		盛土の有無	崩壊の影響	地形内	近傍	地盤変状の有無	現地踏査による影響評価	詳細評価による影響評価
500kV 新新潟幹線	2		影響なし	-	-	-	-	-
500kV 新新潟幹線	3 0	-	-	-		無し	-	-
500kV 新新潟幹線	4 1	-	-		-	無し	-	-
500kV 新新潟幹線	6 4	-	-	-		無し	-	-
500kV 新新潟幹線	6 7	-	-	-		無し	-	-
500kV 新新潟幹線	7 5	-	-	-		無し	-	-
500kV 新新潟幹線	1 6 1	-	-	-		無し	-	-
500kV 新新潟幹線	1 7 9	-	-	-	-	-	詳細評価実施	影響なし
500kV 新新潟幹線	1 8 8	-	-	-	-	-	詳細評価実施	影響なし
500kV 新新潟幹線	1 9 3	-	-	-	-	-	詳細評価実施	影響なし
500kV 新新潟幹線	1 9 4	-	-	-	-	-	詳細評価実施	影響なし
500kV 新新潟幹線	2 0 5	-	-	-	-	-	詳細評価実施	影響なし
500kV 新新潟幹線	2 0 8	-	-		-	無し	-	-
500kV 新新潟幹線	2 1 0	-	-	-	-	-	詳細評価実施	影響なし
500kV 南新潟幹線	1		影響なし	-	-	-	-	-
500kV 南新潟幹線	2		影響なし	-	-	-	-	-
500kV 南新潟幹線	5		影響なし	-	-	-	-	-
500kV 南新潟幹線	4 0	-	-	-		無し	-	-
500kV 南新潟幹線	4 2	-	-	-		無し	-	-
500kV 南新潟幹線	4 5	-	-	-		無し	-	-
500kV 南新潟幹線	4 7	-	-	-		無し	-	-
500kV 南新潟幹線	6 1	-	-	-		無し	-	-
500kV 南新潟幹線	8 7	-	-	-		無し	-	-
275kV 東海原子力線	7		影響なし	-	-	-	-	-
275kV 東海原子力線	1 7		影響なし	-	-	-	-	-
275kV 東海原子力線	3 3	-	-	-	-	-	詳細評価実施	影響なし

：風化した岩が厚く堆積した 1 7 9、及び鉄塔の脚部近傍の斜面に小規模な崩壊跡のみられた 1 9 3 については、将来的な風化の影響も考慮し、必要により長期的な予防保全策を検討する。