

水力発電設備の設備損壊事象について

平成28年12月7日
九州電力株式会社

無断複製・転載禁止



本日のご説明内容



- 黒川第一発電所の設備損壊事象については、有識者、関係行政機関の知見を取り入れ、客観性、透明性を確保しながら、地震、斜面崩壊、設備の損壊及び水の流出の因果関係（斜面崩壊メカニズム）を明らかにすることを目的として、「黒川第一発電所設備損壊事象に係る技術検討会」を設置
- 本日は、技術検討会で審議いただいた結果をご説明

□ 検討項目・スケジュール

	検討項目
第1回 (7/14)	○ 黒川第一発電所概要・被災状況等の説明 ○ 現地視察
第2回 (8/8)	○ 被災状況等の説明（熊本県、南阿蘇村） ○ 斜面崩壊メカニズム〔1回目〕 （地震、斜面崩壊、設備損壊及び水の流出の因果関係）
第3回 (9/26)	○ 斜面崩壊メカニズム〔2回目〕 （地震、斜面崩壊、設備損壊及び水の流出の因果関係）
第4回 (11/11)	○ 検討会報告書

□ メンバー（委員）

役職	専門	氏名
熊本大学大学院 先端科学研究部 教授	地震工学	松田 泰治 （座長）
東京工業大学 名誉教授	地震工学	大町 達夫
熊本大学 名誉教授	防災・地盤工学	北園 芳人
熊本大学大学院 自然科学研究科 特任准教授	地質学 （火山地質）	鳥井 真之
九州電力(株)熊本電力センター 副センター長 （黒川第一発電所 電気主任技術者）	—	田子森 秋彦
九州電力(株)熊本支社 技術部長 （黒川第一発電所 ダム水路主任技術者）	—	前島 龍三

〔オブザーバー〕

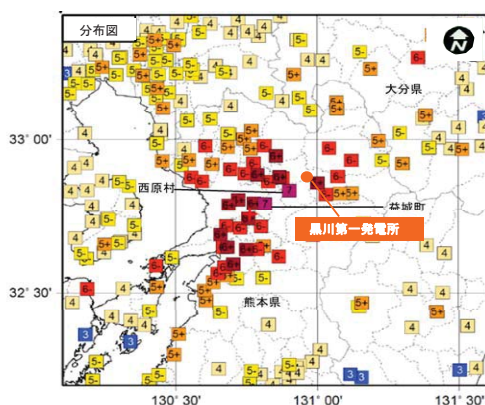
- ・熊本県 県北広域本部阿蘇地域振興局 土木部長
- ・南阿蘇村 総務課長
- ・経済産業省 九州産業保安監督部 電力安全課長

- 1 熊本地震と黒川第一発電所の被害状況
 - 1.1 熊本地震の概要
 - 1.2 黒川第一発電所の概要及び周辺の被災状況
 - 1.3 現地調査の内容
- 2 黒川第一発電所での発生事象のメカニズム
- 3 黒川第一発電所の地震時対応
- 4 まとめ
- 5 今後の設備保全に向けた対応

1.1 熊本地震の概要

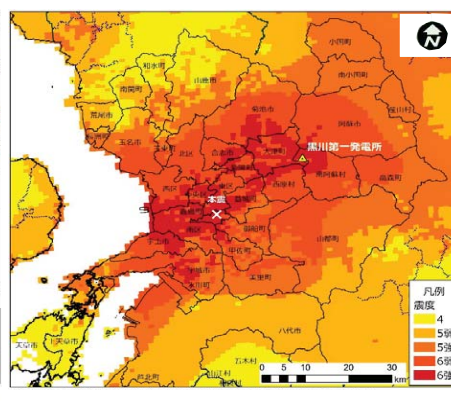
- 平成28年熊本地震では、4月14日21時26分に発生したマグニチュード (M) 6.5の前震、その2日後の4月16日1時25分に発生したマグニチュード (M) 7.3の本震で最大震度7を観測し、熊本地方を中心に大きな被害が発生した。
 - ・ 気象庁は、4月14日のM6.5の地震を一旦「本震」として発表。その後、4月16日のM7.3の地震を「本震」とし、それ以前の地震を「前震」として改めた。
 - ・ 地震調査研究推進本部（以下略、地震本部）によると、本震は主に布田川断層帯の活動によるものと考えられている。
- 黒川第一発電所では、近傍の震度観測点で震度6強を観測しており、発電所地点の最大震度は震度6強と想定される。

□ 震度分布及び活断層との関係



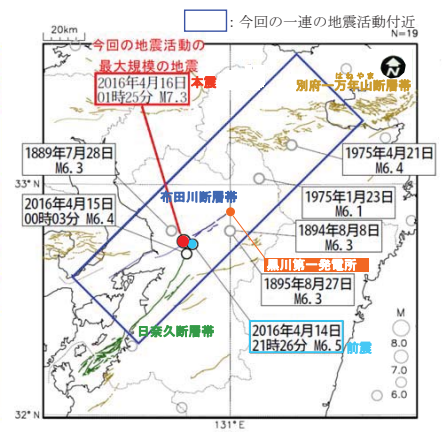
出典 気象庁「平成28年(2016年)熊本地震について(第7報)」を加工し作成

本震の震度分布図



出典 気象庁「推計震度分布(2016年04月16日1時25分 熊本県熊本地方 M7.1)」を加工し作成

本震の推計震度分布図



出典 地震調査研究推進本部「平成28年(2016年)熊本地震の評価(地震本部 H28. 5. 13)」の震央分布図を加工し作成
(1885年1月1日～2016年4月30日 深さ0-100km、M≥6.0)
震央分布図内の青・緑・茶色の各線は、地震本部の長期評価による活断層を示す。

震央分布図

1. 1 熊本地震の概要

□震度観測点

震央、黒川第一発電所ヘッドタンクおよび観測点との距離関係

	震央からの距離		ヘッドタンクと河陽の距離
	ヘッドタンク	河陽観測点	
前震	21.9km	22.2km	3.6km
本震	24.4km	25.3km	



出典：行政界：国土交通省国土政策局「国土数値情報 行政区域データ（平成27年）」を使用

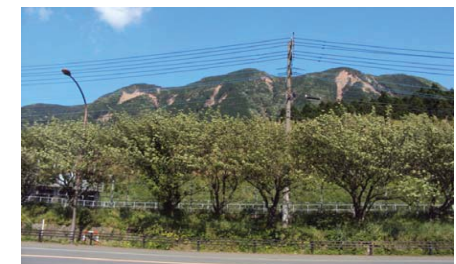
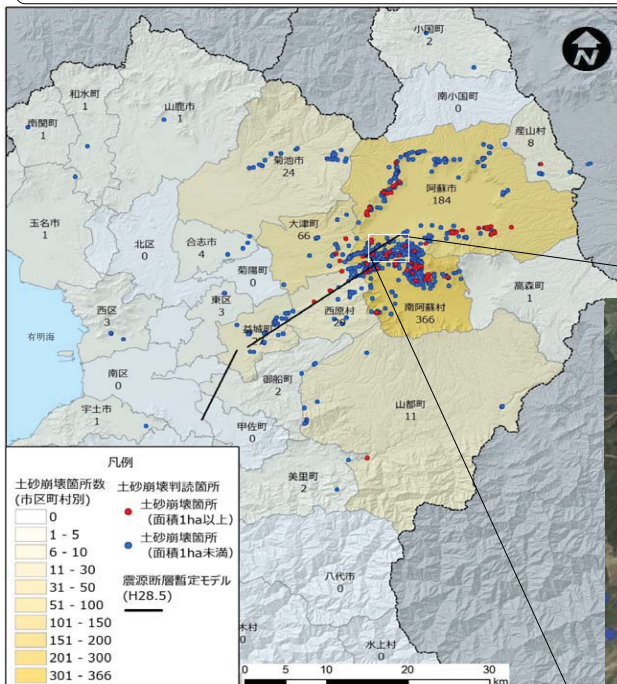
黒川第一発電所近傍の震度観測点
(南阿蘇村河陽、阿蘇市内牧、大津町引水)

□地震の概要

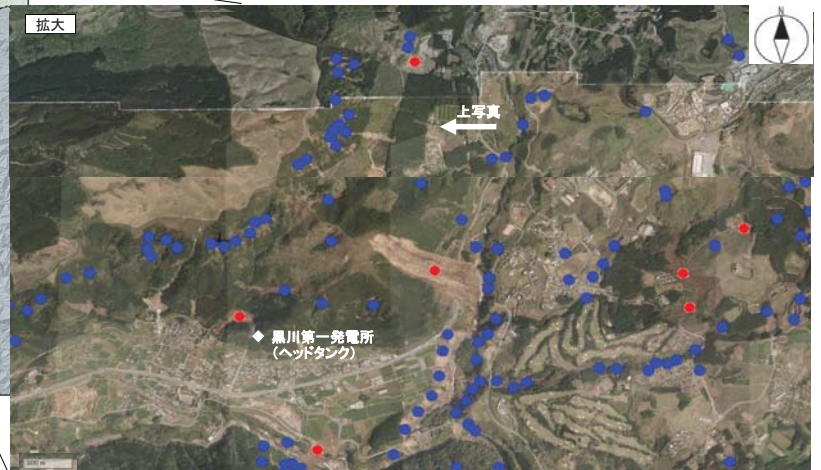
	最大震度	黒川第一発電所地点の震度 (近傍3箇所の震度観測点の震度の最大値)	今回活動したとみられる断層	マグニチュード	黒川第一発電所ヘッドタンクとの距離	
					震源との距離	断層との最近接距離
本震 (4/16 1:25)	7	6強	主に布田川断層帯 布田川区間	7.3	約24 km	約700m
出典	気象庁	南阿蘇村河陽（自治体）6強 阿蘇市内牧（自治体）6弱 大津町引水（防災科学技術研究所）6弱	平成28年〔2016年〕熊本地震の評価（地震本部、H28.5.13）	気象庁	気象庁震度データベースより当社算定	平成28年熊本地震の震源断層モデル（暫定）（国土地理院、H28.5）
前震 (4/14 21:26)	7	5弱	日奈久断層帯 高野-白旗区間	6.5	約22km	-
出典	気象庁	南阿蘇村河陽（自治体）5弱 阿蘇市内牧（自治体）5弱 大津町引水（防災科学技術研究所）5弱	平成28年〔2016年〕熊本地震の評価（地震本部、H28.5.13）	気象庁	気象庁震度データベースより当社算定	-

1. 1 熊本地震の概要

○ 熊本県北東部の広い範囲で多数の土砂崩壊が発生しており、特に南阿蘇村近傍に集中している。



赤瀬沈砂池周辺から見た斜面崩壊状況（撮影：H28.5.20）



出典 国土地理院「平成28年熊本地震・空から見た（航空写真判読による）土砂崩壊地分布図」を加工し作成
平成28年熊本地震 航空写真判読による土砂崩壊地分布図

出典1) 国土地理院 判読結果（平成28年4月25日）の「土砂崩壊地」KMLデータをプロット（<http://www.gsi.go.jp/BOSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.htm#ec>）
出典2) 地震調査研究推進本部「平成28年度熊本地震の評価（平成28年4月17日公表）記載の震源断層モデル（暫定）：布田川モデル（H28.4）」をトレース
出典3) 行政界：国土交通省国土政策局「国土数値情報 行政区域データ（平成27年）」を使用
出典4) 国土地理院「基盤図情報数値標高モデル（10mメッシュ）」を背景の地形陰影として使用し作成

1.2 黒川第一発電所の概要及び周辺の被災状況

- 大正3年（1914年）3月に最大出力6,000kWで運転を開始した。
- これまで3回の増設工事を経て、現在は最大出力42,200kWを有しており、1日の電力需要に合わせた調整運転を実施している。
- また、取水した水を灌漑用水として分水するなど地域と共存している。

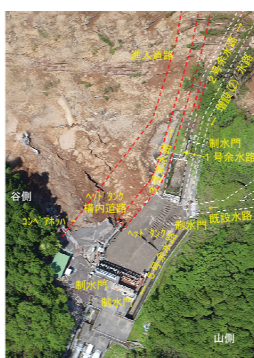
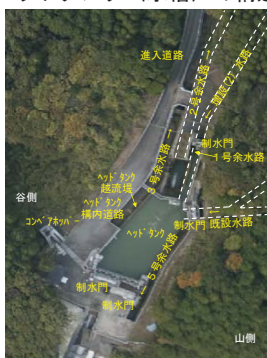
□ 発電所諸元

項目	諸元
最大出力	42,200kW（1号機：15,000kW、2号機：27,200kW）
最大使用水量	20.3m ³ /s（1号機：7.3m ³ /s、2号機：13.0m ³ /s）
有効落差	244.9m

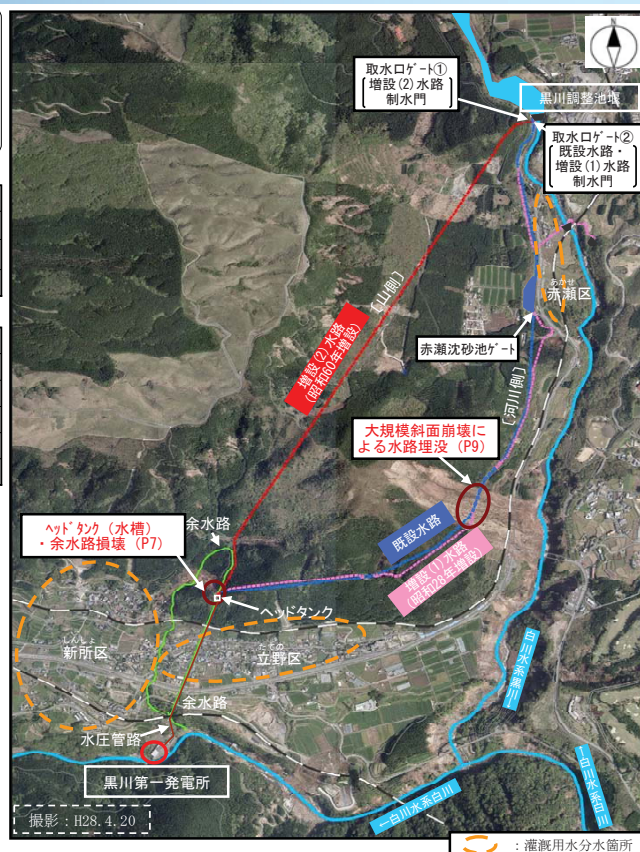
□ 設備諸元

設備名	諸元
調整池堰	頂長55.0m、高さ12.2m
取水口	第1取水口：幅2.0m、高さ5.5m、第2取水口：幅3.2m、高さ6.3m
導水路	延長：既設約3,034m、増設(1)約3,171m、増設(2)約2,741m
ヘッドタンク	幅3.42～13.17m、高さ2.75～7.0m、延長41.2m、貯水量 約1,100m ³
水圧鉄管	径：1号1.8m～2.0m、2号1.2m～2.9m、延長：1号約866m、2号約908m

□ ヘッドタンク（水槽）の構造



ヘッドタンク損壊前（撮影：H21.11） ヘッドタンク損壊後（撮影：H28.5.14）



発電所概要・被害状況

1.2 黒川第一発電所の概要及び周辺の被災状況

- 黒川第一発電所周辺では、ヘッドタンク及び阿蘇大橋付近の2箇所で大規模斜面崩壊が発生した。

① ヘッドタンク・余水路付近

- 4月14日の前震時、黒川第一発電所は発電中であり、地震後の臨時点検において異常がなかったことから発電を継続した。
- 4月16日の本震直後、送電線事故の波及により発電を停止した。
- ヘッドタンク越流堤・余水路より斜面側の道路などが損壊し、構造物の基礎地盤とともに崩落した。

□ ヘッドタンク（水槽）・余水路損壊状況及び下流域の被災状況



ヘッドタンク周辺斜面崩壊状況（撮影：H28.4.16 10:30）



ヘッドタンク・余水路損壊前状況（撮影：H22.4）



①ヘッドタンク・余水路損壊状況（撮影：H28.5.15）

【参考】発電所周辺の道路の被害状況

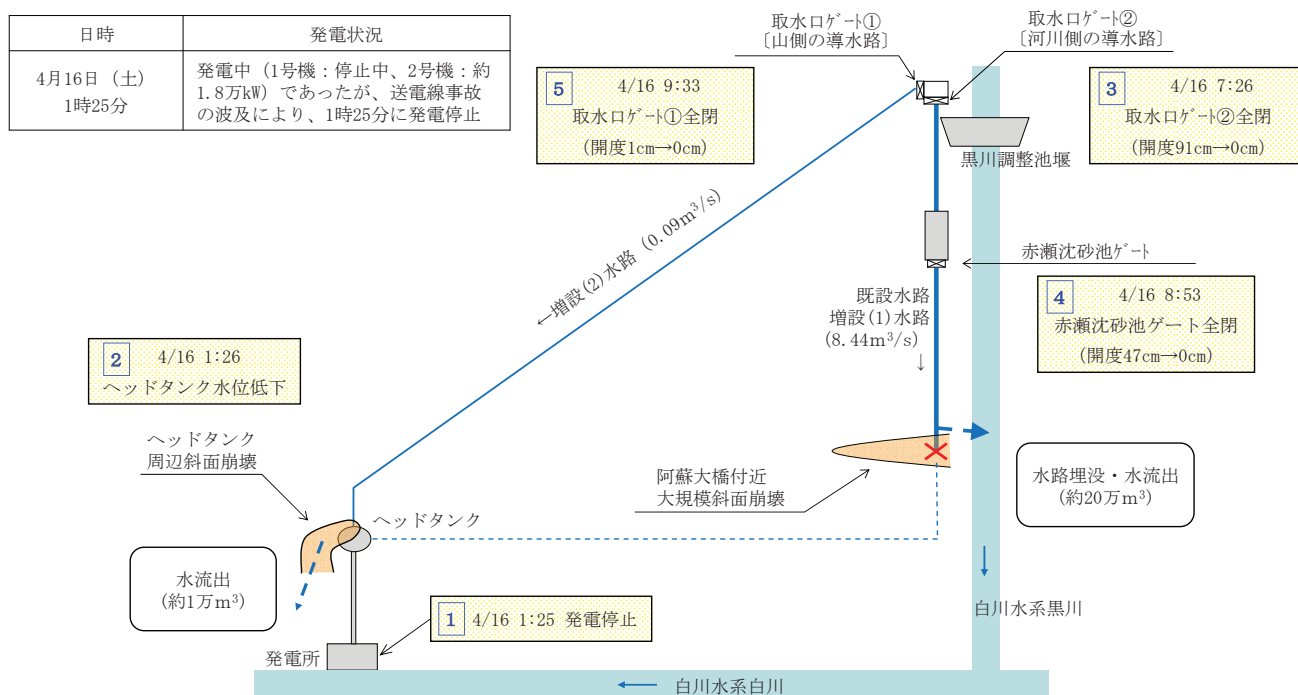


②余水路損壊・閉塞状況（撮影：H28.5.18）



立野小学校付近（撮影：H28.5.13）

1.2 黒川第一発電所の概要及び周辺の被災状況



黒川第一発電所の概略図と対応経緯(本震時)

1.2 黒川第一発電所の概要及び周辺の被災状況

② 阿蘇大橋付近の被災状況

- 阿蘇大橋付近の大規模斜面崩壊では、発電所の導水路埋没をはじめ、国道や鉄道線路の埋没、橋梁の崩落が発生した。
- 大規模斜面崩壊は導水路上方の山頂部付近から発生し、その崩壊土により導水路は埋没していると推定される。(埋没部分の詳細は不明)
- 導水路の埋没に伴う水路閉塞により、総量約20万m³の水が斜面崩壊箇所上流側の導水路より流出したと推定される。

口阿蘇大橋付近の大規模斜面崩壊と導水路埋没の状況



阿蘇大橋付近斜面崩壊状況(撮影:H28.4.16)



①導水路閉塞状況(撮影:H28.5.20)



②導水路閉塞状況(撮影:H28.5.21)



阿蘇大橋付近斜面崩壊状況(撮影:H28.4.20)

口その他周辺施設の被災状況



③阿蘇大橋被災状況(撮影:H28.5.20)



④国道57号被災状況(撮影:H28.5.20)

1.3 現地調査の内容

- 地震、斜面崩壊、設備損壊及び水の流出の因果関係について検討するため、以下の調査を実施した。

(1) 現場確認など

	項目	内容	目的	実施時期
現場確認 など	ヘリコプターによる現場 確認	・上空より、被災状況を確認（熊本全域）	・熊本地震被災の全容把握のため	平成28年4月16日
	臨時点検（社員）	・現場状況確認（目視）	・被災状況の把握	平成28年4月17日
	航空レーザー測量・写真 撮影	・地形測量（崩壊前後の比較） ・航空写真撮影（崩壊前後の比較）	・被災状況の全容把握のため ・被災状況等を把握し、発生した事象を理解するため	平成28年4月20日

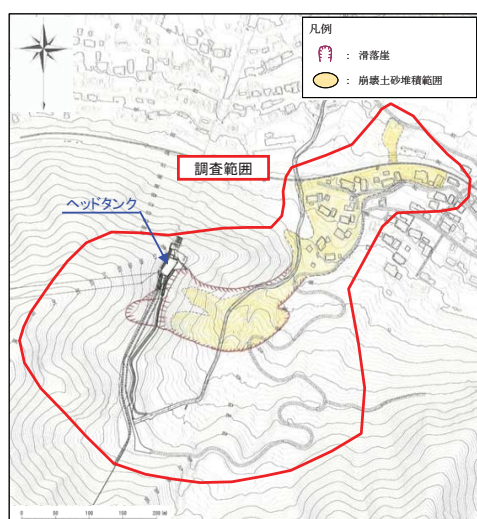
(2) 現地調査（1次調査）

項目	内容	目的	実施時期
現地踏査	地形・地質等の状況確認	目視や空撮により地形・地質状況や倒木の向き等を確認	平成28年5月13日 ～ 平成28年5月18日
	崩壊土砂堆積状況の観察	目視により崩壊土砂の重なり方を観察	
	土砂の採取	土砂の性状を確認するためのサンプルを採取	
	流下した土砂の状況観察	目視により土砂の到達範囲・痕跡を確認	
構造物調査	目視及び土砂サンプル採取により、流下土砂の特徴（粒度等）を確認	・土砂の到達範囲や特徴を確認し、発生した事象（水と土砂の関係）を理解するため	平成28年5月13日 ～ 平成28年5月18日
	損壊した当社構造物の状況確認	構造物の損壊形状を目視や計測で把握	
	ヘッドタンク、余水路のコンクリート強度等を 確認 鉄筋の配置を鉄筋探査計や目視で確認	・損壊形状を確認し、構造物の損壊の仕方や水の流出の仕方を想定するため ・構造物の損壊状況や過程を理解するために必要な特性を把握するため	

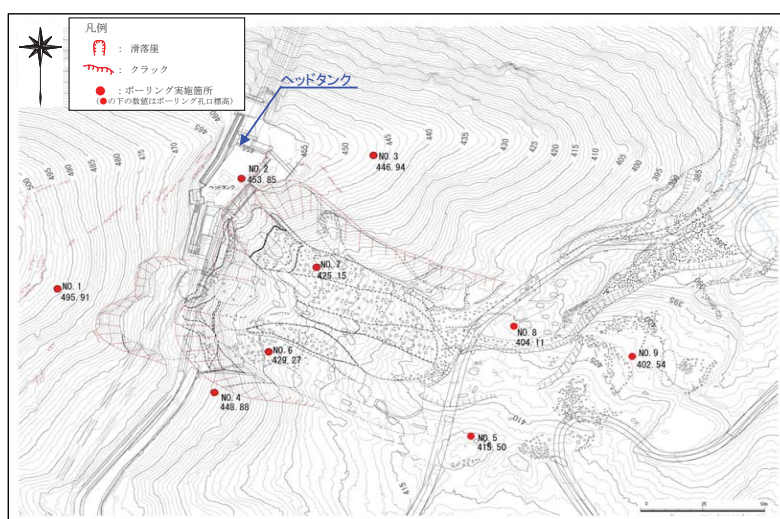
(3) 現地調査（2次調査）

項目	内容	目的	実施時期
ボーリング調査	・標準貫入試験 ・パイプひずみ計設置 ・ポアホールスキャナ観測 ・コア採取	・地質構造、岩盤性状の把握 ・二次災害の危険性の把握	平成28年6月10日 ～平成28年9月16日

1.3 現地調査の内容



1次調査実績図



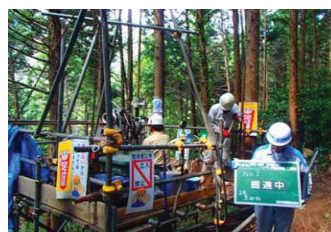
2次調査実績図（ボーリング位置図）



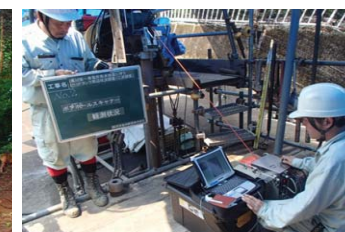
現地踏査（撮影：H28.5.13）



構造物調査（撮影：H28.5.15）



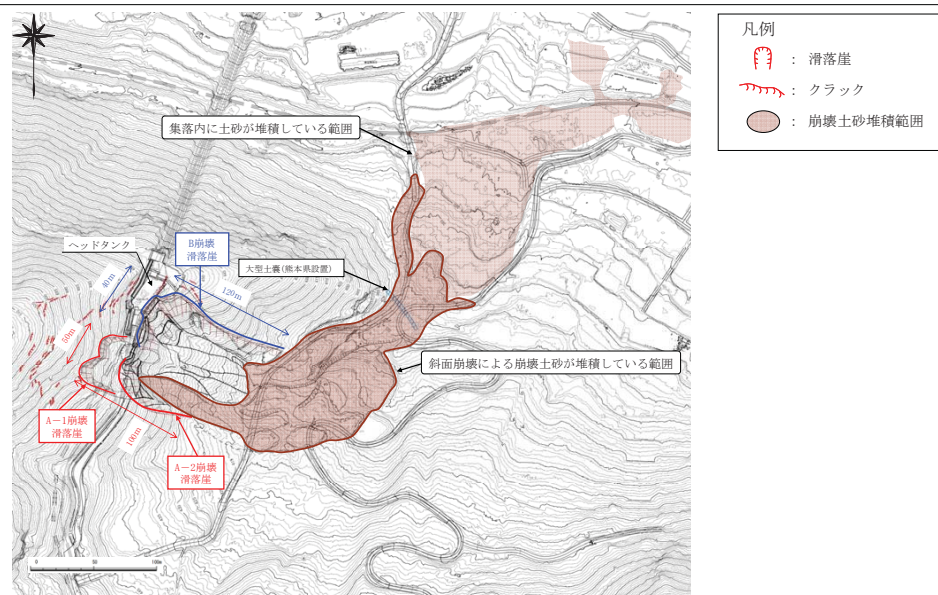
ボーリング掘進状況（撮影：H28.8.17）



ポアホールスキャナ観測状況
（撮影：H28.8.19）

(1) 斜面崩壊の概要

- 今回の斜面崩壊は、A崩壊（A-1、A-2）とB崩壊の大きく2箇所が発生している。
- 崩壊前の斜面勾配は、A崩壊斜面が30～35°、B崩壊斜面が25～35°である。
- A崩壊はA-1崩壊とA-2崩壊に分けられるが、全体で見ると崩壊規模は約長さ100m×幅50m×深さ7mであり、崩壊土砂量は約3.5万m³と推定される。
- B崩壊の規模は約長さ120m×幅40m×深さ9mであり、崩壊土砂量は約4.3万m³と推定される。
- A崩壊（A-1、A-2）、B崩壊の頂部にはそれぞれ高さ10～20mの滑落崖がある。

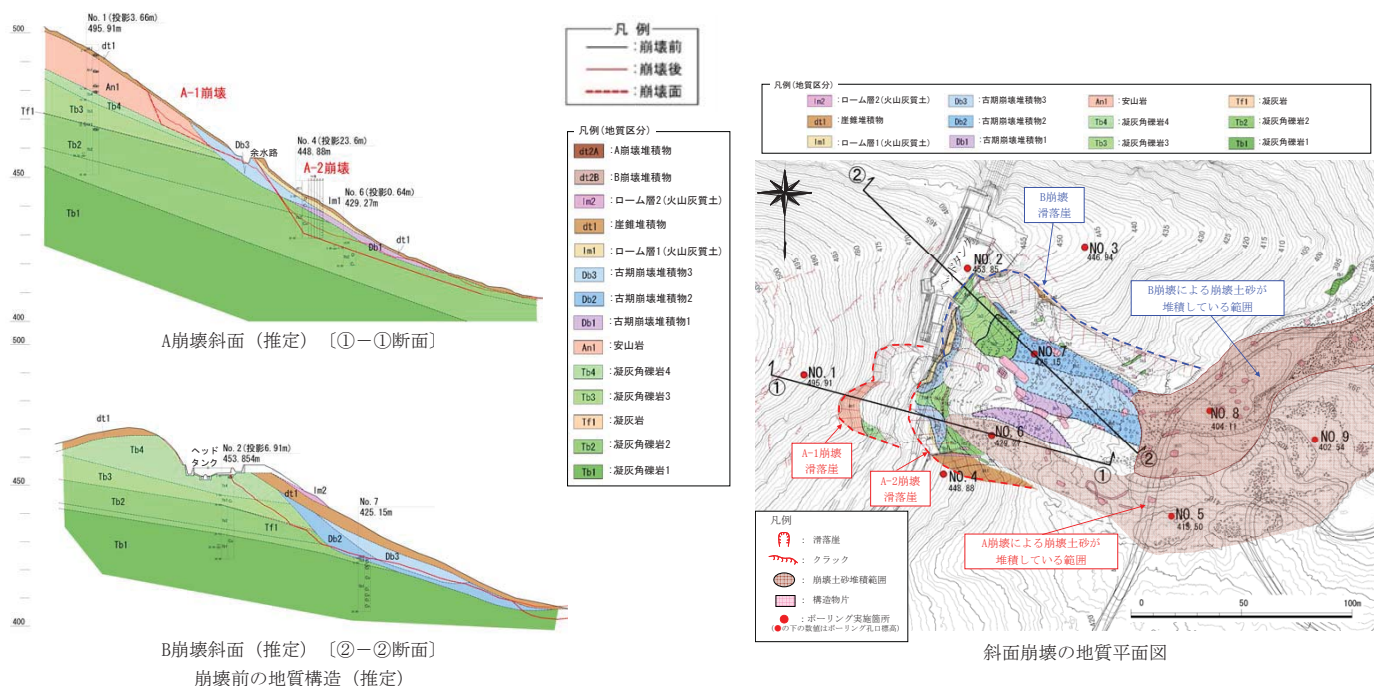


黒川第一発電所ヘッドタンク付近で発生した斜面崩壊の平面図

2 黒川第一発電所での発生事象のメカニズム

(2) 地質、地質構造

- 先阿蘇火山岩類(地質年代：約220～45万年前)に属する凝灰角礫岩が基盤をなしており、この層はヘッドタンクなど構造物の基礎となっている。
- ・ 基盤である凝灰角礫岩の層を覆うように、安山岩が分布しており、この層は、A崩壊斜面の頂部及び崩壊斜面上方で確認された。
- ・ 基盤である凝灰角礫岩の上には、安山岩や凝灰角礫岩の礫と細粒の基質部からなる層が不整合で覆っており、この層は、立野火口瀬形成以降に発生した斜面崩壊や土石流などが堆積して形成されたものと推定される。



2 黒川第一発電所での発生事象のメカニズム

(5) 現在の基準による耐震性の確認

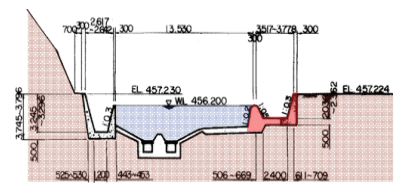
- 現在の基準に基づき、ヘッドタンクの耐震性を評価した結果、ヘッドタンクは現在の基準を満たしていることを確認した。

① 現在の基準（発電用水力設備の技術基準：昭和40年制定）

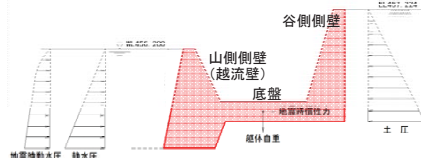
(ヘッドタンク)
第29条 ヘッドタンクは、次の各号により
施設しなければならない。
一 ヘッドタンクは、自重、水圧、地震
力及び土圧に対し安定であり、かつ、これ
らの荷重による応力は、使用する材料ごと
にそれぞれの許容応力を超えないこと。

基準の内容	
安定	転倒、滑動、地盤支持力に対して安定であること
許容応力を超えない	許容曲げ応力度、許容せん断応力度を超えないこと

② 検討ケース



検討 ケース	水位の状態		地震力
	ヘッド タンク	第3号 余水路	
常時	満水 状態	空虚 状態	—
地震時	満水 状態	空虚 状態	水平震度 0.17



③ 検討結果

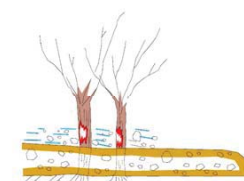
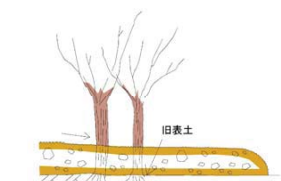
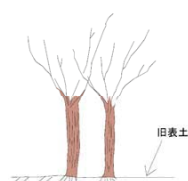
検討項目		検討ケース	許容値(安全率)	計算値	結果
安定であること	転倒(m)	常時	0.792以下	0.115	○
		地震時	1.584以下	0.201	○
	滑動(安全率)	常時	1.5以上	16.3	○
		地震時	1.2以上	2.1	○
	支持力(kN/m ²)	常時	200以下	25	○
		地震時	300以下	36	○
許容応力度を超えないこと	曲げ応力※(N/mm ²)	常時	0.29以下	0.25	○
		地震時	0.43以下	0.27	○
	せん断応力※(N/mm ²)	常時	0.38以下	0.06	○
		地震時	0.57以下	0.07	○

※底盤、側壁について検討し、最も厳しい箇所を記載

2 黒川第一発電所での発生事象のメカニズム

(6) 崩壊斜面の水・土砂の流下状況

- 斜面崩壊による崩壊土砂は、黒ボクや火山灰質土が水と混じらず攪拌されない状態で集落最上流部付近まで堆積していることが確認された。（写真①）
- この崩壊土砂の上には、水が流れたことにより形成された谷状の侵食地形が確認された。（写真②）
- 崩壊土砂が堆積している範囲の末端付近には、立木の樹皮の特徴的な損傷（木の根元部分の樹皮は残存、ある高さから上の部分の樹皮だけが削剥）が確認された。（写真③）
- これらのことから、斜面崩壊が発生した後にヘッドタンクからの水が斜面に堆積している崩壊土砂を巻き込みながら流下したと推定される。



- ・斜面崩壊による崩壊土砂が到達。
- ・生えていた樹木の根元部分を崩壊土砂が覆った。
- ・斜面崩壊による崩壊土砂が堆積している範囲の末端付近にあたるため、土砂の移動の力が弱く、木も倒れずに樹皮も残存したと推定。

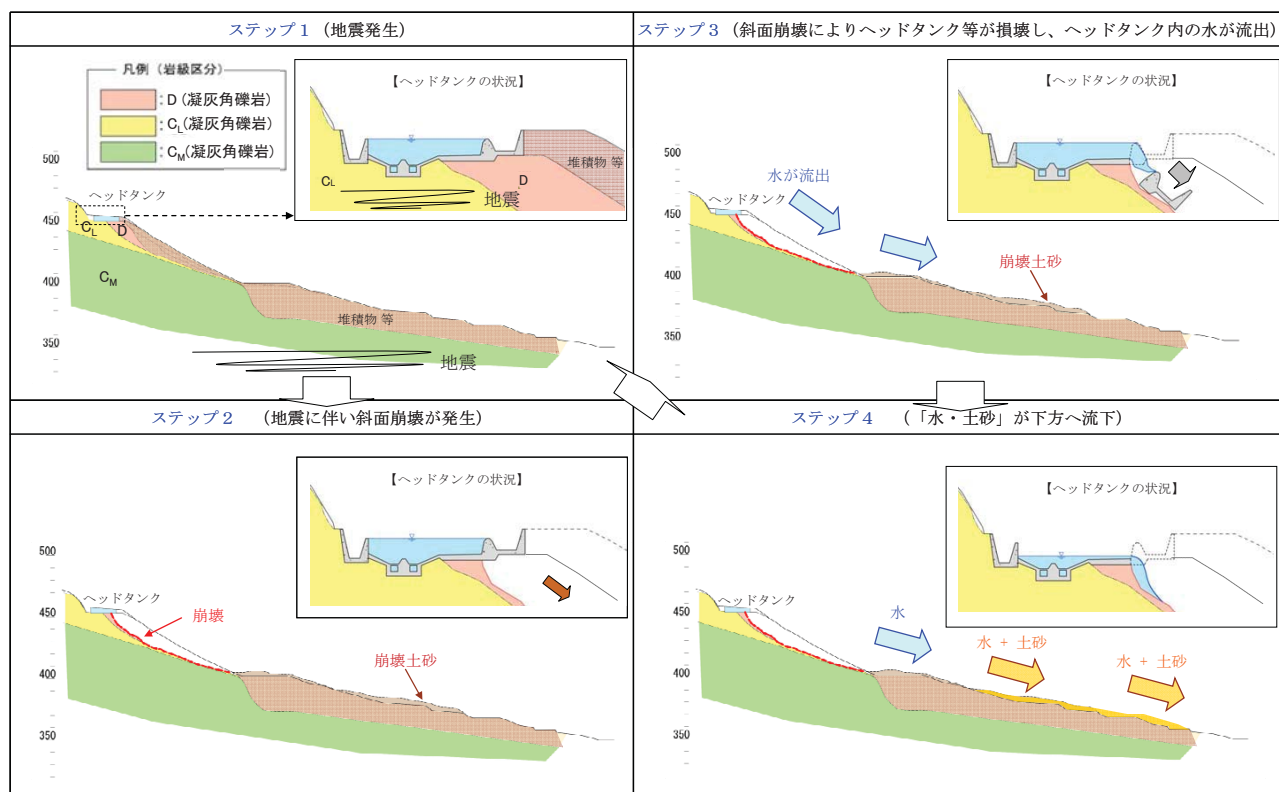
- ・流出した水が斜面に堆積した崩壊土砂を侵食。
- ・土砂を巻き込みながら流下。
- ・崩壊土砂に覆われた根元部分には傷がつかないが、地表に露出した部分は水と土砂がぶつかって樹皮が剥がれたと推定。

立木の樹皮の特徴的な損傷発生メカニズムについての推定（イメージ図）

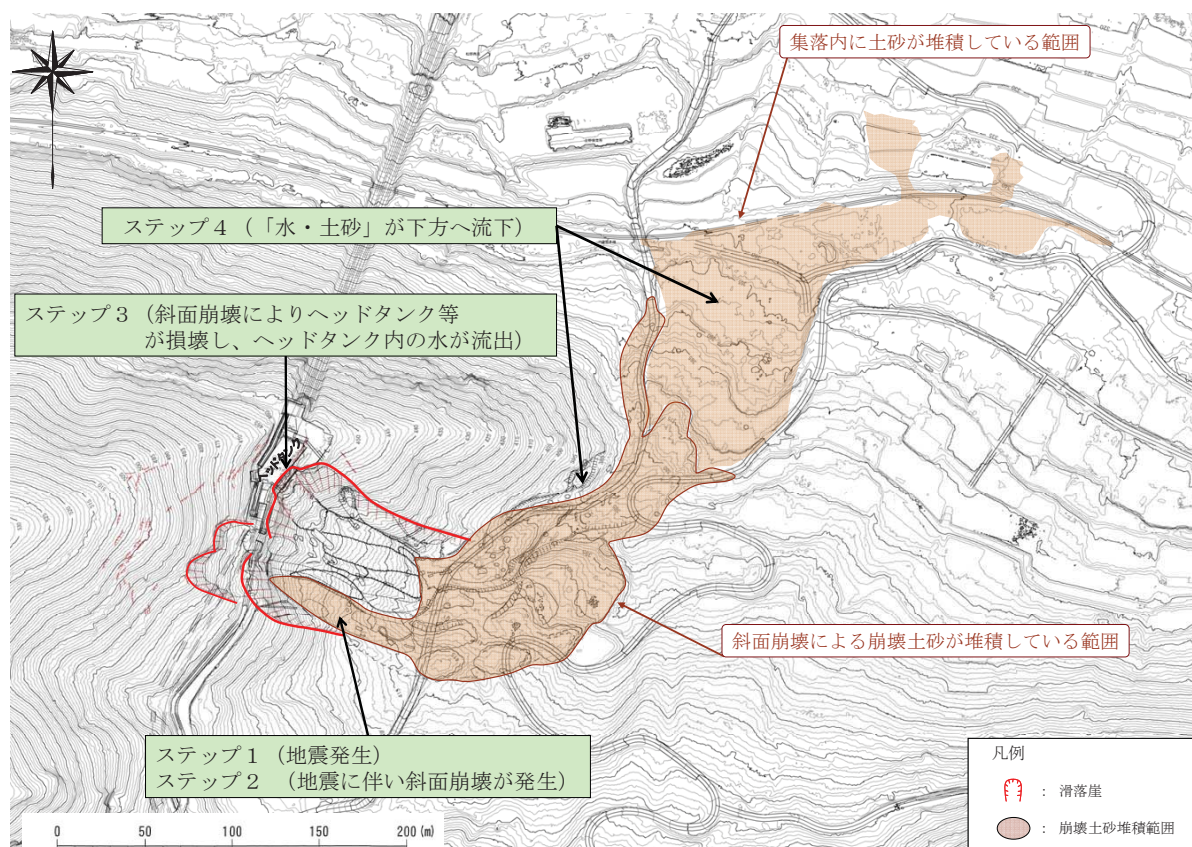
2 黒川第一発電所での発生事象のメカニズム

(7) 斜面崩壊メカニズムの推定

- 調査結果より、今回発生した地震、斜面崩壊、当社設備の損壊及び水の流出の関係は、以下のとおりと推定される。



2 黒川第一発電所での発生事象のメカニズム



- 本震発生後、ヘッドタンク水位の低下を確認したため、設備に何らかの異常が発生していると判断し、熊本支社より遠隔での取水停止操作を試みたが、通信線切断により操作不能を確認。直ちに現地で取水停止操作を実施するため、取水堰に社員を派遣し取水停止操作を実施（ただし、通常のアクセスルートが遮断されており、取水堰に到着するまでにかなりの時間を要する結果となった）。

日時	地震発生後の対応
4月16日(土)	1:25 地震発生、発電停止
	1:26 ヘッドタンク水位が測定限界値まで低下（このことは3:30に確認）
	1:33 熊本支社社屋の火災報知機発報により社員退避指示（館内放送により社員は屋外へ退避）
	3:21 社員が社屋へ入館（火災発生は火災報知機の誤報）
	3:30 ヘッドタンク水位が低下していることを確認
	3:37 取水ロケットの閉操作を熊本支社から遠隔操作で試みるが操作不能を確認（阿蘇大橋付近の斜面崩壊により取水ロケット遠隔操作用通信線が切断、このため現地操作で行うと判断）
	3:45 社員2名が黒川第一発電所調整池堰に向け出発（阿蘇大橋付近の斜面崩壊により、堰・取水口に行くアクセスルートが遮断されており、堰・取水口到着までにかなりの時間を要することとなった）
	7:16 当社社員が現地（堰・取水口）に到着
	7:26 取水口（河川側水路）を全て閉鎖し、河川からの取水を停止
	8:53 河川側水路に設置されている沈砂池の下流側のゲート閉操作
	9:33 取水口（山側水路）を全て閉鎖し、河川からの取水を停止

【通行ルートの補足説明】

- ①阿蘇大橋付近の大規模斜面崩壊により国道57号線の通行不可を確認（長陽大橋経由ルートを確認のため引き返す）
- ②長陽大橋手前で道路損壊により村道（南阿蘇村）の通行不可を確認（ミルロード経由ルートを確認のため引き返す）
- ③県道339号（ミルロード）途中の斜面崩壊により通行不可を確認（県道23号菊池赤水線経由にルート変更）
- ④県道23号（菊池赤水線）途中の車梯橋が段差により通行不可を確認（黒川沿いの別ルートを確認のため引き返す）

以上より、通常は所要時間1時間程度のところを約3時間30分かけて移動



4 まとめ

技術検討会において、以下の結果が得られた。

- 平成28年熊本地震では、4月14日に発生したM6.5の前震、4月16日に発生したM7.3の本震で最大震度7を観測し、黒川第一発電所近傍の南阿蘇村河陽では、前震で震度5弱、本震で震度6強を観測した。
- 同地震では、黒川第一発電所の位置する南阿蘇村を中心とした阿蘇地域において同地域に特徴的な地形・地質特性により多数の土砂災害が発生した。黒川第一発電所では、本震の際にヘッドタンク付近で斜面崩壊、ヘッドタンク及び周辺設備の損壊が発生し、約1万m³の発電用水が流出した。
- 今回発生した地震、斜面崩壊、設備の損壊及び水の流出の関係（斜面崩壊メカニズム）は、現地踏査やボーリングなどの現地調査、当日の地震や発電状況などの記録、数値シミュレーションなどに基づき、以下のとおりと推定される。

- ① 地震のゆれにより岩盤を巻き込んだ大規模な斜面崩壊が発生
- ② 斜面崩壊により基礎地盤が失われたヘッドタンク等の設備が損壊、水が流出
- ③ 流出した水が斜面に堆積している崩壊土砂を巻き込み、下方に流下
- ④ 流下した水及び土砂が集落に流入

- 以上、黒川第一発電所設備損壊事象は、今回の地震で引き起こされた斜面崩壊により設備が損壊して発電用水が流出し、流出した水が斜面に堆積している崩壊土砂を巻き込み、水及び土砂が集落に流入したものと推定される。

技術検討会では大規模な斜面崩壊に伴い設備損壊が生じたものと推定されたが、今後のその他の水力発電設備の更なる安全性向上に向けた示唆・助言を、委員・オブザーバーより以下のとおりいただいた。

- ・災害経験を今後を活用していく必要があるのではないか
- ・費用等総合的に判断し、リスクの高い箇所から優先順位をつけて対応することが必要ではないか
- ・被害を最小化するような準備を事前に考え、備えておくことが必要
- ・斜面リスクの把握が重要
- ・山の上や斜面などに設置しなければならない水力設備に対する地震の影響を把握していくことが鍵ではないか
- ・取水口ゲートの遠隔制御などの設備の信頼性向上が必要ではないか
- ・地域とのリスクコミュニケーションが必要ではないか

今後の水力発電設備の保全においては、被害を最小化するための準備を事前に考え、備えておくことは非常に重要なことである。そのためには、地域の理解と協力を得ながら、発電所毎の立地条件等に応じて、ハードとソフトの多重化による設備の信頼性向上や地域とのリスクコミュニケーション等に取り組んでいく。