

インド

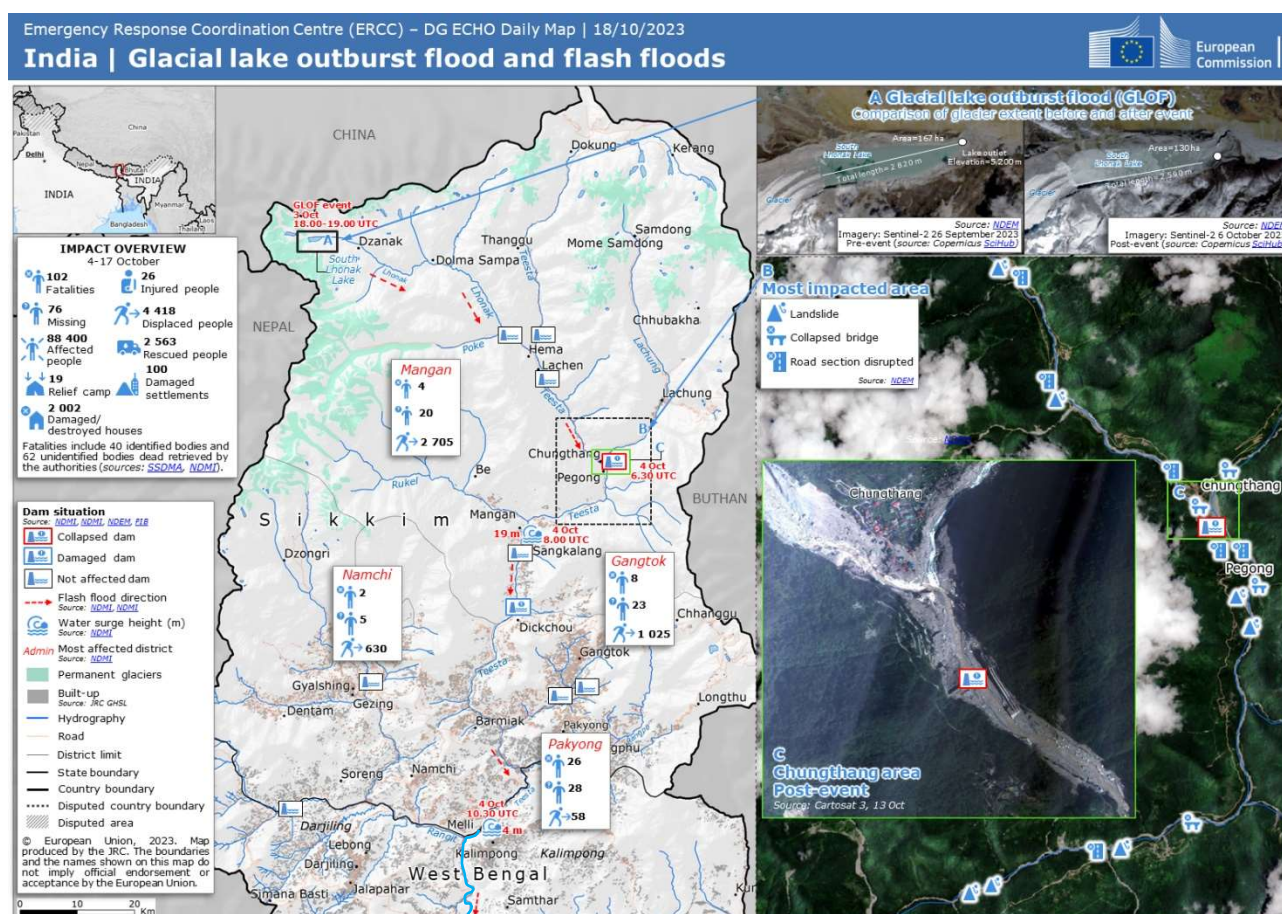
シッキム州洪水による被害

場所	インド シッキム(Sikkim)州および西ベンガル州(West Bengal)北部のティースタ(Teesta)川流域	死者*	104人
期間	2023年10月4日		
概要	ティースタ川源流の氷河湖が決壊、洪水流がティースタ川を流下し、下流の水力発電ダムが決壊。ダム直上流およびダム下流沿川に甚大な被害をもたらした。	行方不明者*	77人

※死者・行方不明者数は2024年11月2日時点の内務省発表資料²⁰による

1. 基本情報

地図



© European Union, 1995-2024

出典：ECHO

<https://erccportal.jrc.ec.europa.eu/ECHO-Products/Maps#/maps/4668>



<シッキム州の地形>

- 三方をブータン、中国チベット自治区、ネパールに囲まれている。¹
- ヒマラヤ山脈と北から南へのびる支脈がチベット自治区、ブータン、ネパールとの自然国境となっている。²
- インドの中では最も、距離に対して標高差の著しい州であり、南北に走る険しい渓谷、荒々しく流れ落ちる溪流、滝、湖、深い森などを有する。²
- 主要河川は、ティースタ(Teesta)川とその支流ランギット(Rangeet)川。ティースタ川はシッキム州北部の湖を水源とし、南へ流下し、チュンタン(Chungthang)、シングダム(Singtam)などを経由し、メリ(Melli)でランギット川と合流する。ティースタ川は最終的にはバングラデシュ国内でブラマプトラ川に合流しベンガル湾に至る。²

<シッキム州の気候>

- 州内の著しい標高差から、南部は亜熱帯気候だが北部山岳地帯はツンドラ気候と差異が激しい。³
- ベンガル湾からヒマラヤ山脈に吹き込むモンスーン風にさらされるため、ヒマラヤ山麓地域ではもっとも湿度の高い(humid)地域となる。³
- モンスーン雨期は5月～9月。7月の降水量が最も多く、7月降水量は600-700mmに達する。³
- シッキム州北部の2011～2021年平均年降水量3,144.2mm。10月平均降水量166.8mm。⁴

<地域の発展経緯>

- シッキム州は、氷河湖とインド最高峰(世界第三位)カンチェンジュンガ山。515種の気象な蘭などのエキゾチックな動植物にめぐまれ、観光天国としての発展を狙っている。⁵
- 州内では農業従事者がもっとも多く、主要作物はコメ、トウモロコシ、茶、大豆、生姜など。大粒のカルダモンを生産することでも有名。⁵
- 水力発電では、推定8,000MWの潜在的に高い発電能力を持つ。独立系発電事業者は州内で29の水力発電所の開発を承認。これらのプロジェクトは建設のさまざまな段階にあり、完成時には約5,350MWの設備容量を持つことになる。⁵
- ヘルスケア企業、医薬品製造企業も集中している。⁵
- 製造業や建設業、発電事業などの発展により2004～2011年の間にシッキム州の一人当たり所得水準は2倍以上となったが、急峻な地形もあり、インフラの整備状況は遅れている。⁶
- インド北東部は、インドの高い成長率の影響を受けにくいだが、シッキム州は北東部州の中では、一人当たりの所得が最も高い。⁶

2. 今回の水害の特徴・過去の水害

<今回の水害の特徴>

- ティースタ川源流の標高5,200mに位置する氷河湖の、周囲を囲むモレーン(堤防状の地形)の一部崩落がきっかけで、氷河湖が決壊。
- 洪水がティースタ川を流下し、ティースタⅢ水力発電ダムに流入、ダムが決壊し、直上流のチュンタンや下流沿川に甚大な洪水被害をもたらした。
- シッキム州は、氷河湖決壊をワイヤーセンサーで検知する早期警戒システム導入を計画していたが、まだ調査段階で、設置はされていなかった。
- 決壊発生時にティースタⅢダムは満水であったと報道されている。洪水流到達前に放流を開始することはできなかった。
- ティースタⅢダムのほかにも2ダムが損壊し、各ダムの貯留水が洪水被害を拡大した可能性がある。
- ティースタⅢダムは建設途中でダム型式が重力式コンクリートからロックフィルに変更された。また洪水吐も4基から2基に削減されており、この点を問題視する見方もある。



<過去の被害（シッキム州、インド氷河湖決壊）> ⁷

年月	災害種別	死者数	場所
2021年4月	氷河湖決壊	16	ウッタラカンド州
2021年2月	氷河湖決壊	234	ウッタラカンド州
2012年9月	洪水、土砂災害	21	シッキム州、アルナチャル・プラデシュ州、アッサム州など

3. 災害の要因

<氷河湖決壊の背景>

- シッキム州には694の氷河湖があり、2021年の調査で、そのうち21湖に決壊の恐れがあるとされた。⁸
- 決壊したロハック湖はこの21湖のひとつ、標高5,200mに位置する。⁸
- 近年、ヒマラヤの氷河は早いペースで溶けており、1960年と2000年の衛星写真比較では、氷河面積の13%が失われている。⁸
- いっぽうで融解・流出した水により氷河湖の面積は増大。決壊した南ロハック(South Lhonsk)湖の面積は1977年には17haであったが、2008年には99haと6倍に増加、決壊直前の2023年9月には165haに達していた。⁸
- シッキム州政府は2016年から、サイフォン式の排水管で氷河湖の水を抜く試みを行っていたが、試験施工のみに終わってしまった。氷河湖は標高5,400m超の高地にあることが多く、自然環境が厳しい。設置した排水管は流失した。結局、州政府は、資金不足からこの試みを停止する。⁹
- 2015年に今回決壊した南ロハックの調査を行った専門家は、早期警報システムの設置と決壊時浸水想定マップの作製を推奨していた。⁹
- シッキム州政府は、スイス・チューリッヒ大学の専門家の協力を得て、氷河湖に早期警報システムを導入しようとしていた。氷河湖決壊をワイヤーセンサーで検知する仕組みである。¹⁰
- 2023年9月に一部の氷河湖で早期警戒システムの試験設置が開始されたが、標高の高い現地は、自然環境が厳しく、センサー検知が安定しない。ロハック湖にはこの問題の解決後に設置される予定であった。⁹

<2023年10月3日氷河湖決壊>

- インド北東部宇宙応用センター(NESAC)の分析によると、ティースタ川上流に位置するロハック湖が決壊したのは、10月3日現地時間22時過ぎと推定される。¹¹
- 衛星写真を分析した専門家によると、決壊の引き金となったのは、大型の氷塊の氷河湖への崩落と、氷河湖端部のモレーン(morain:氷河が運んだ土砂で出来た堤防状の地形¹²)の崩壊と推察される。¹³
- 決壊前(2023.9.27)と決壊後(2023.10.7)の衛星写真を比較すると、
 - ・ 氷河湖に巨大な氷の塊(氷河)が浮かんでいること。
 - ・ 氷河湖の水位が下がり、面積も縮小していること、
 - ・ 氷河湖の周囲を囲むモレーンの一部が崩壊し、そこから幅の広い水路が発生していること、が見て取れる。¹³
- 専門家は、何らかの理由で氷河が雪崩のように氷河湖に崩れおち、巨大な波が発生して湖の周囲を囲んでいたモレーンの一部が決壊、氷河湖の水が水路を勢いよく流れ落ちたと分析。氷河が後退すると、後に崩れやすい(unstable)モレーンが取り残される問題も指摘している。¹³
- 氷河雪崩の発生原因については、
 - ・ 直前の2週間の気温差が激しく、氷河が凍結と融解を繰り返していたと推察される。
 - ・ 10月3日のシッキム州北部には激しい通り雨(cloudburst*)があったこと。などの複合的要因が挙げられている。¹¹

*注) cloudburst: 山岳地帯の地形的特徴から、強い上昇気流に乗り、温かく湿った空気が山腹に沿って上昇、標高の高いエリアで雲が発達し、狭い地域に局地的豪雨が発生する現象。



<河川・ダム>

- ティースタ川上流ロハック氷河湖の決壊は 10 月 3 日 22 時過ぎと推定される。¹¹
- 3 日 22:30 に Zanak の国境警備隊が水位の急な上昇に気づき、司令部に連絡。¹⁴
- 3 日 23:40 にティースタⅢダムで越水が始まる。¹⁴
- 10 月 4 日午前 0:10 にティースタⅢダムが流失。¹⁵
- Sankalang 水位観測所では 10 月 4 日午前 1:30 に、水位が 19m 上昇した。¹⁵
- 10 月 4 日未明にティースタⅤダムに到達、ダムおよび水力発電所が損壊。¹⁵
- 建設中のティースタⅥダムは、土石とがれきで埋まった。¹⁵
- 西ベンガル州のティースタ下流Ⅲダムと下流Ⅳダムは損壊をまぬがれたが、シルトが堆積し、発電を停止した。¹⁵
- 10 月 4 日中央水資源委員会(CWC)レポートによれば、ロハック湖とティースタⅢダムの流出水が、シッキム州内のティースタ川を流下中だが、水位の上昇は止まり下降傾向。¹⁶
- 10 月 4 日中央水資源委員会(CWC)レポートによれば、西ベンガル州では今後 48 時間、ティースタ川水位の上昇に注意。すべての大規模/中規模ダムはダム標準運用基準(Standard Operation Procedure : SOP)に従い、下流沿川住民に警告の上、放流を行っている。¹⁶
- Zanak の標高は 16,000ft(4,877m)、チュンタン(Chungthang)の標高は 6,000ft(1,829m)。2 地点は 60km 離れているが、洪水は約 1 時間 10 分でチュンタンに到達している。¹⁴



ティースタ川

地図出典 : <https://aff.india-water.gov.in/>

<ティースタ川ダム諸元> ^{17, 18, 19}

名称	所在州	目的	管理者	竣工年*	型式	堤高(m)	堤長(m)
ティースタⅢ	シッキム	発電	Teesta Urja	2017	ロックフィル	60	298
ティースタⅤ	シッキム	発電	NHPC	2007	重力式石造	86.8	176.5
ティースタⅥ	シッキム	発電	Lanco Energy	建設中	-	-	-
ティースタ下流Ⅲ	西ベンガル	発電	NHPC	2013	重力式石造	-	-
ティースタ下流Ⅳ	西ベンガル	発電	NHPC	2016	重力式石造	30	511

*注) 竣工年には一部、運用(operation)開始年を含む。NHPC は国営発電公社。

4. 被害

<人的被害>

- 11 月 2 日内務省レポートによれば、死者 104 人(身元確認 42 人、遺体収容(身元未確認)62 人)、行方不明 77 人。²⁰
- 2,563 人が救助され、11 月 2 日現在も 5,565 人が避難を継続。²⁰

<住居被害>

- 11 月 2 日内務省レポートによれば、住宅被害 2,004 棟 (うち全壊 1,425 棟、半壊 579 棟)。²⁰

<インフラ被害・農林畜産被害>

- 10 月 9 日の内務省レポートによれば、ティースタⅢダムの直上流に位置するチュンタンでは、町の 80%に甚大被害。停電、断水、通信も途絶。ティースタ川のチュンタン橋と Toong 橋が流失。²¹



【道路・橋梁】

- 10月9日および11月2日内務省レポートによれば、道路被害は下記。^{20,21}
 - ・幹線国道 NH-10 号線（西ベンガル州境から州都ガントク市を結ぶ）複数個所で不通。
 - ・NH-710 号線（西ベンガル州境のメリ(Melli)から北西方向への支線）複数個所で不通。
 - ・NH-310A 号線（ガントク市からティースタ川沿いにチュンタンを経て中国国境に至る）では、7 橋損壊。マンガン(Mangan)～チュンタン 3.8km が流失、チュンタン～Lacheon でも 500m 流失。

【家畜・家禽被害】

- 11月2日内務省レポートによれば、家畜 1,831 頭、家禽 29,389 羽が死亡。²⁰

5. 被災国政府の対応

<発災前>

- 10月3日 22:30 に、南口ハーク湖の 8km 下流に位置する Zanak 駐屯の国境警察が、急激な水位上昇に気づいた。¹⁴
- 22:40 に、Zanak のからシッキム州州都ガントクの司令部に一報が入る。¹⁴
- ガントクの司令部はチュンタン当局(administration)に急報。22:50 にチュンタン当局は警報サイレンを鳴らし、直下流のティースタⅢダム管理者に対応を要請したが、この時点でティースタ川はすでに危険水位をうわまわっていた。¹⁴
- チュンタンではその後の 15 分-20 分でダム関係者とその家族 300 人をたたき起こし（文字通りドアを叩いたとある）高台に避難させた。¹⁴
- ティースタⅢダムでは、管理者が洪水吐開放作業を開始しようとしたが、すでにダム越流が始まっていた。¹⁴
- ダムを運用する Sikkim Urja 社発表では、「国境警察から情報を得たのは 23:58、ただちにゲートを開こうとしたが、ゲートを開く前に洪水流が到達し、係員は避難した」とある。¹⁵
- 下流ティースタⅤダムに洪水が到達したのは、10月4日午前 01:30。ティースタⅤダムの洪水吐き（全 5 基）は 1 基が全開、2 基は半分開いたところで洪水に襲われた。残り 2 基は開放が間に合わず、ダムは越流した。ダム開閉作業に当たっていた作業員が、洪水に巻き込まれ流された。¹⁴

<発災後>

- 10月4日～9日に内閣官房長官(Cabinet Secretary)が議長をつとめる国家危機管理委員会(National Crisis Management Committee : NCMC)が対応会合を開き、シッキム州知事がオンラインで会議に参加。住民の緊急避難、橋梁流失による孤立にともなう仮設橋設置などの迅速対応を協議した。²¹
- 空軍と陸軍のヘリコプターが、道路流失で孤立したチュンタンより上流の地域から、病人、旅行者、軍関係者、住民など約 4,000 人超を下流のマンガン、ガントクなどに移送。²⁰
- 陸軍の 2 隊が救助・救援に出動。²¹
- 国家災害対応部隊(NDRF)は、3 チームがチュンタン付近、2 チームが州都ガントク付近で捜索・救助活動。²¹
- 国境道路公団(BRO)は、陸軍と州公共事業局の支援を得て、ティースタ川に仮設吊り橋(Bailey suspension bridge)を 9 基架設。地方当局は、ジップライン橋 2 箇所、竹製の応急仮設橋 6 橋などで渡河手段を仮復旧。²⁰
- 通信が途絶していたチュンタンより上流地域に衛星通信(V-SAT)基地局を設置。²⁰
- チュンタンと Pegong（いずれもシッキム州）に医療キャンプを開設。²¹

<新たな氷河湖対策>

- 今回の決壊を受けて中央政府の国家防災庁は、氷河湖への迅速な早期警報システムの設置を支援すると発表した。⁹



6. 被災国における課題

<氷河湖の問題>

- シッキム州には 694 の氷河湖があり、そのうち 21 湖に決壊の恐れがある。決壊したロハック湖はこの 21 湖のひとつ。⁸
- 近年、ヒマラヤの氷河は早いペースで溶けており、1960 年と 2000 年に衛星写真比較では、氷河面積の 13%が減少している。⁸
- いっぽうで融解水により氷河湖の面積は増大。決壊した南ロハック湖の面積は 1977 年には 17ha であったが、2008 年には 99ha と 6 倍に、決壊直前の 2023 年 9 月には 165ha に達していた。⁸
- シッキム州政府は 2016 年から氷河湖の水を抜く試験施工を行ったが、標高 5,400m 超の高地にあることから自然環境が厳しく、設置した排水管は流失した。⁹
- シッキム州政府はまた、スイスの専門家の協力を得て、氷河湖決壊をワイヤーセンサーで検知する早期警戒システム導入を計画していた。このシステムが稼働すれば、洪水が到達する 90 分前に、下流に警報が送られるはずだが¹⁰、2023 年 9 月に現地視察とワークショップが開かれたばかりであった。⁹
- 氷河湖は標高約 5,500m の高地にあり、試験施工や設置には多額の費用を必要とする。シッキムのような小さな州は資金不足の問題を抱えている。今回の決壊を受けて中央政府の国家防災庁は、氷河湖への迅速な早期警報システムの設置を支援すると発表した。⁹

<決壊したティースタⅢダムの問題>

- 報道によれば、決壊したティースタⅢ水力発電ダムは、当日、満水状態であったという⁹。このため、上流から押し寄せた洪水流を吸収することができなかった。⁸
- ティースタⅢダム運営会社は「国境警察から情報を得たのは 23:58 であり、すでに洪水流が激しく、ゲート開放作業を行うことができず、係員は安全のため退避した」と発表している。洪水吐ゲートが開かれぬまま、ダムは上流からの洪水流に襲われた。^{10,15}
- しかしティースタⅢダムの洪水吐は、ゲートの開放が運用開始以来確認されたことが無いと指摘されている。¹⁰
- また、ダム運営会社から「ダム流失」の公式な報告がなされたのは、決壊(4 日 24:00)から 12 時間後の 5 日 13:00 になってからであった。¹⁵
- ティースタⅢダムの洪水吐容量については、中央電力庁(CEA)のダム・リストに記述がなく、ティースタⅢダムそのものが、中央水資源委員会(CWC)の全国大ダム・リストに含まれていない。¹⁵
- ティースタⅢダム建設に際して実施された 2006 年の環境影響評価報告書はお粗末なものであった。この報告書では、気候変動による氷河湖決壊や鉄砲水、表流水や堆積物の増加は触れられておらず、ダム決壊時の影響分析や減災計画も含まれていなかった。¹⁰
- その後、ダム運営会社は、コスト削減のために重力式コンクリート・ダムをコンクリート・フェーシング・ロックフィル・ダムに変更、洪水吐も 4 基から 2 基に、容量も削減した。^{9,10}
- ティースタⅢダムの下流に建設されたティースタⅤダムはコンクリート・ダムであり、今回の被害は一部損壊にとどまっている。⁹
- ロックフィル・ダムの設計変更は中央電力庁の許可を得ずに行われた。その後の現地調査でこれを発見した中央電力庁は、設計変更の危険性を指摘したものの、その一部を承認。しかし洪水吐の容量削減(7,000cusec→3,000cusec)については認めず、当初容量に戻させた。⁹
- しかし 7,000cusec(198.2m³/秒)という洪水吐容量は、大雨洪水を想定したものであり、氷河湖決壊による洪水流には対応できないと指摘されている。¹⁰
- 今回の氷河湖決壊洪水では、上流から下流へ階段状(cascading)に建設されたダムが被害を拡大したと指摘する中央水資源委員会の専門家もいる。ティースタⅢダムのほかにも 2 ダムが損壊し、各ダムの貯留水が洪水被害を拡大した。⁸
- 氷河湖決壊のほかにも、上流に地殻活動の活発なヒマラヤ地域をかかえるシッキム州は、地震も多く、大量の堆積物流出の問題もあり、またクラウド・バーストと呼ばれるヒマラヤ山麓地域独特の集中豪雨も頻発する。これは地雷原にダムを建設しているようなものではないか、との批判もある。⁸



- またヒマラヤ地域は非常に気候変動の影響を受けやすいため、環境アセスメント終了後に状況が変化してしまう可能性がある。変動モデルを含む特別な環境アセスメントが必要である。⁹

<中央水資源委員会(CWC)洪水予測の問題点> ¹⁵

- ティースタ川には、決壊したティースタⅢダムの20km上流に、中央水資源委員会(CWC)のLacheon水位観測所が設置されていた。
- CWCは水位観測所のデータを、洪水予測とともにウェブサイトに公開している。
- しかしデータ更新はリアルタイムではなく、氷河湖決壊とティースタⅢダム決壊が発生した10月3日-4日にかけてのデータは、水位急増を伝えることなく、10月3日23:00以降の更新が停止した。
- Lacheon観測所は氷河湖の40-45km下流に位置する。仮にCWCの洪水予測が即座に公表されていたら、ティースタⅢダム管理者の事前対応は可能であった可能性がある。CWCの洪水予測は緊急時に対応できていない。



- ¹ Sikkim Government
Sikkim Information Commission
<https://sikkim.gov.in/departments/sikkim-information-commission>
- ² Sikkim Government
Geography
<https://sikkim.gov.in/departments/tourism-civil-aviation-department/geography>
- ³ Sikkim Tourism and Civil Aviation Department
Weather and Climate
<https://www.sikkimtourism.gov.in/Public/Planning/weatherandclimate>
- ⁴ ENVIS Hub: Sikkim
North Sikkim
Rainfall data North Sikkim- 2009-2021.pdf (sikenvis.nic.in)
- ⁵ Invest India
シッキム
<https://www.investindia.gov.in/ja-jp/state/sikkim>
- ⁶ 2018.3 JICA
JICA国別分析ペーパー「インド」
<https://www.jica.go.jp/Resource/india/ku57pq00000467kb-att/jcap.pdf>
- ⁷ Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
EM-DAT
<https://www.emdat.be/>
- ⁸ 2023.10.9 Scroll in
‘Ticking time bombs’: Sikkim floods a reminder of why locals opposed dams in the Himalayas for years
<https://scroll.in/article/1057269/ticking-time-bombs-sikkim-floods-a-reminder-of-why-locals-opposed-dams-in-the-himalayas-for-years>
- ⁹ 2023.10.9 Mongabay
No early warning system and insufficient dam safety turned Sikkim flood deadly
<https://india.mongabay.com/2023/10/no-early-warning-system-and-insufficient-dam-safety-turned-sikkim-flood-deadly/>
- ¹⁰ 2023.11.23 Indiaspend
Teesta Dam Breach: Disregard For Green Norms, Irregularities In Focus
<https://www.indiaspend.com/investigations/teesta-dam-breach-disregard-for-green-norms-irregularities-in-focus-882600>
- ¹¹ 2023.10 North Eastern Space applications Centre
Quarterly Inhouse Newsletter
<https://nesac.gov.in/assets/resources/2023/11/Newsletter-Oct-2023.pdf>
- ¹² 富山県立山カルデラ砂防博物館
立山劔氷河・万年雪の用語集
<https://www.tatecal.or.jp/tatecal/stuff/fukui/index7/index7.html#nihon%20san%20dai%20sekkei>
- ¹³ 2023.10.9 Down to Earth
Avalanche, cloudburst, flood: Researcher lays out chronology of events that led to Sikkim disaster
<https://www.downtoearth.org.in/news/natural-disasters/avalanche-cloudburst-flood-researcher-lays-out-chronology-of-events-that-led-to-sikkim-disaster-92205>

¹⁴ 2023.10.10 The Print

How an alert ITBP jawan on duty 8 km away from South Lhonak lake raised 1st flood alarm in Sikkim
<https://theprint.in/india/how-an-alert-itbp-jawan-on-duty-8-km-away-from-south-lhonak-lake-raised-1st-flood-alarm-in-sikkim/1797562/>

¹⁵ 2023.10.4 SANDRP

Glacial Lake Flood destroys Teesta-3 Dam in Sikkim, brings wide-spread destruction
<https://sandrp.in/2023/10/04/glacial-lake-flood-destroys-teesta-3-dam-in-sikkim-brings-wide-spread-destruction/>

¹⁶ 2023.10.4 Central Water Commission

Daily Flood Situation Report cum Advisories 04-10-2023
<https://cwc.gov.in/sites/default/files/dfsitrepc-a-04-10-23.pdf>

¹⁷ India WRIS

Dams in Sikkim
https://indiawris.gov.in/wiki/doku.php?id=dams_in_sikkim

¹⁸ India WRIS

Dams in West Bengal
https://indiawris.gov.in/wiki/doku.php?id=dams_in_west_bengal

¹⁹ 2020.6 Univ. of Asia Pacific

Hydropower development along Teesta river basin: opportunities for cooperation
https://www.researchgate.net/figure/Existing-hydropower-projects-along-Teesta-river-basin-as-of-28072019_tbl2_342237674

²⁰ 2023.11.2 インド内務省

Ministry of Home Affairs Disaster Management Division (National Emergency Response Centre) Situation report regarding Flood/ Heavy rainfall in the country as on 02.11.2023 at 1800 hrs.
<https://reliefweb.int/report/india/ministry-home-affairs-disaster-management-division-national-emergency-response-centre-situation-report-regarding-flood-heavy-rainfall-country-02112023-1800-hrs>

²¹ 2023.10.9 インド内務省

Situation report regarding Flood/ Heavy rainfall in the country as on 09.10.2023 at 1800 hrs
<https://ndmindia.mha.gov.in/NDMINDIA-CMS/viewsituationDisasterReportPdfDocument-1152>

