

由比の治山技術

—重要な保全対象を護る由比直轄地すべり地の技術について—



公益社団法人 森林保全・管理技術研究所 内田 勉

1. 由比地すべり地の概要

—災害履歴と事業経過—

静岡市清水区由比地区は、重要な保全対象を護るために様々な治山技術(地すべり防止対策)が駆使された箇所である。由比地区は、蒲原町と旧清水市に挟まれた駿河湾沿いの町で、江戸時代には東海道 16 番目の宿場町として栄えた。町域の東側に比較的平坦地が多く、この近傍を東名高速道路、国道 1 号、東海道本線、県道、東海道新幹線が平行して走っており、通信回線を含めると、この地域の施設はわが国の大動脈であり、さらに由比漁港等の漁業の拠点もあり、地すべり防止事業の保全対象は、わが国屈指の重要性を帯びた地域である。



図1 静岡市清水区由比地すべり地全景²⁵⁾,³⁰⁾

(静岡県の地形・地質概要)

静岡県は南北 118 km, 東西 155 km, 面積 8,000 平方km(全国 13 位)である。地形は山梨・長野県境に 3,000m級の山岳 6 座があり、急峻な山地、急流河川、幅の狭い海岸線、伊豆のリアス

式海岸、および深い海(駿河湾)が特徴的である。

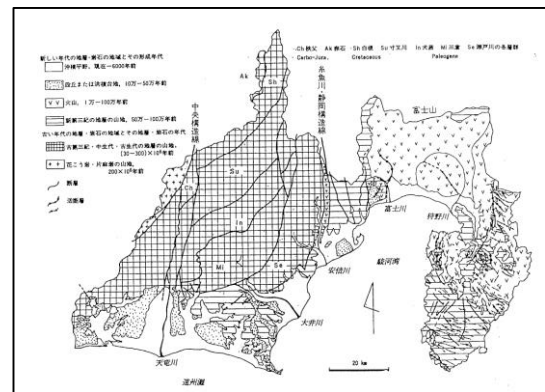


図2 静岡県の地質概要図⁹⁾

地質構造線としては中央構造線が県の西側をかすめており、糸魚川静岡構造線が県央を貫いている。地質は南から古第三紀、中生代、古生代と北へ行くほど古い地質となっている。

由比は糸魚川静岡構造線の東側に位置し、新第三紀層に相当する地質からなっており、また県東部や伊豆半島では新第三紀層を富士山などから噴出した溶岩が覆っている。

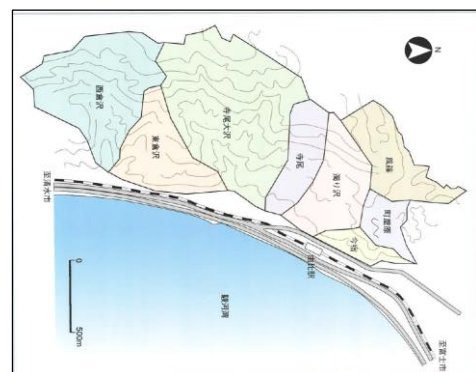


図3 由比地すべり防止区域の地区名²⁵⁾

(由比地すべり防止区域)

林野庁所管由比地区の地すべり防止区域は

昭和 33 年 3 月, 地すべり等防止法制定に伴い, 翌昭和 34 年 1 月, 同地区のうち 18.54ha が地すべり防止地区に指定され, その後, 6 回の追加指定を経て計 264.22ha の指定地となった¹⁹⁾。

表 1 由比町における地すべり災害史^{25), 29)}

昭和23年	6月19日	梅雨前線・低気圧	中ノ沢で地すべり、集積地20ha埋没	
	9月10~12日	低気圧・寒冷前線	洪水で由比川西端500~600m決壊、家屋6戸流出、山下海岸で鉄道・国道が陥没・交通不能	
	9月15~16日	台風(アイオン)	中ノ沢土砂流出(75,000m ³)、東海道本線が7時間不通	
昭和25年	9月9~14日	低気圧	降雨により、中ノ沢から等風河にかけて亀裂が発生し、小規模な崩壊が多数	地すべり防止事業
昭和26年	6月15日	梅雨前線・低気圧	濁沢、今宿平、等風河で46haにわたり活動的な地すべりが発生	
昭和27年	3月19日	低気圧	家屋20戸・由比駅・淡水、国鉄一時不通	
	6月23~24日	台風(少子)	本山で連続崩壊、死者1名、家屋流出の戸	
昭和28年	5月7~8日	梅雨前線・台風2号	牛沢、入山で連続的な崩壊	
	9月26日	台風・前線	床下浸水40戸、山崩れ発生	
昭和30年	9月30日	寒冷前線	西谷沢・寺尾沢、寺尾橋付近に土砂流出	
昭和32年	8月8日	前線・低気圧	土砂流出発生、国鉄一時不通	
昭和33年	7月23日	台風(11号)	山崩れ発生	
昭和35年	8月14日	台風・寒冷前線	等風河、中ノ沢に冠水、国鉄一時不通、家山で連続的な住宅1戸半壊	
昭和36年	3月14日	低気圧・前線	等風河で地すべり、寺尾沢、中ノ沢で土砂で埋没(移動土砂量120万m ³)	地すべり防止事業
	4月15日	低気圧	等風河で崖壁に亀裂が発生	
昭和37年	6月13日	梅雨前線	東谷沢大沢山南斜面で地すべり発生	
	8月26日	台風	等風河の北側に交通止め	
昭和39年	3月15日	低気圧	松ヶ下で地すべり発生、4000m ² の土砂移動	
	6月21日	梅雨前線	等風河、中ノ沢に冠水、国鉄・国道200mにわたり埋没、19時間不通	
昭和41年	6月28日	台風(4号)	濁沢・町道で連続的な土砂崩壊	
昭和46年	2月	低気圧	等風河で地すべり活動	
	2月1日	低気圧	大和田で地すべり、国鉄・国道通行運転	
昭和47年	7月15日	台風	足ヶ久保地すべり、国鉄・国道警戒運転	
	9月15日	低気圧	小ヶ瀬沢に冠水、国鉄・国道不通	
昭和49年	7月1日	台風・梅雨前線	多量の山崩れ、地すべり発生・流出土砂で人家・国鉄・国道に大被害	

(直轄地すべり対策事業)

由比地区の地すべり対策は、静岡県と林野庁東京営林局によって昭和 23 年から第一次直轄事業が開始され, 昭和 36 年発生 of 寺尾地すべり対策として第二次直轄事業が行われた。



図 4 由比地すべり地の事業経過²⁹⁾

また, 昭和 49 年 7 月の豪雨による地すべり災害を契機として, 昭和 50 年度から第三次直轄地すべり防止事業が開始された。昭和 53 年度には大規模地震対策特別措置法に基づき, 国土庁由比地区震災対策技術委員会の答申により, 震災対策を盛り込んだ事業が行われた。第三次直轄事業は昭和 50 年度~平成 12 年度の 26 年間にわたり, 総工事費は約 385 億円である。

なお, 平成 12 年度には, 地すべり挙動等を監視するための自動観測システムと防災機能を備えた由比地すべり管理センターが設置され, 平成 13 年 4 月から静岡県に引き継がれた²⁵⁾²⁶⁾。

2. 石材と木杭の時代

— 第一次直轄地すべり防止事業 —

昭和 23 年 9 月, アイオン台風来襲時に, 寺尾地区の斜面で地すべりが発生し, 中ノ沢に約 75,000m³ の土砂が流下した。土砂は国鉄東海道線に到達して鉄道不通が 7 時間に及び, この斜面復旧対策として, 林野庁東京営林局による第一次直轄地すべり防止事業が行われた。事業は昭和 23 年から 30 年度まで, 総工費約 1.1 億円で実施された。第一次直轄事業では, 表面水処理のための水路工, 石材による溪間工, 浅層地下水排除を目的とした暗渠工, および抑止工として木杭による杭打工が行われた。

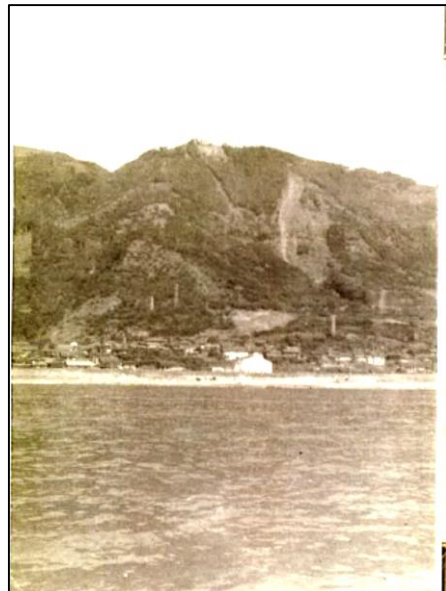


写真 1 寺尾付近の全貌(昭和 28 年撮影)¹⁾

(第一次直轄事業の施工地)

第一次直轄事業については, 東京営林局由比治山事業所が昭和 30 年 5 月にまとめた貴重な写真集が残されている¹⁾。施工地は, 中ノ沢と寺尾沢に囲まれた幅 200m, 高さ 150m の上部斜面(三角形の部分)周辺の崩壊対策, 両沢の溪間工, 西側の寺尾大沢の溪間工, ゴミ沢地すべりの対策, 東側では濁沢と今宿平地すべりの対策である。写真 1 に見られる寺尾地区の中ノ沢と寺尾沢に囲まれた三角形部分の急崖は, 約 8 年後の昭和 36 年 3 月に大崩壊し, 大規模な寺尾地すべりを誘発している。また約 20 年後に地すべり活動後, 土石流化した濁沢の急崖と上

部の今宿平地すべりの写真も残されている。

(石材の調達と運搬)

当時の地すべり防止対策は、石材（玉石・砂・砂利）を用いた溪間対策、および編柵と石積土留による斜面对策が主流である。石材のうち玉石は、富士川上流(由比 37 km)から、砂・砂利は安倍川から調達したようである。

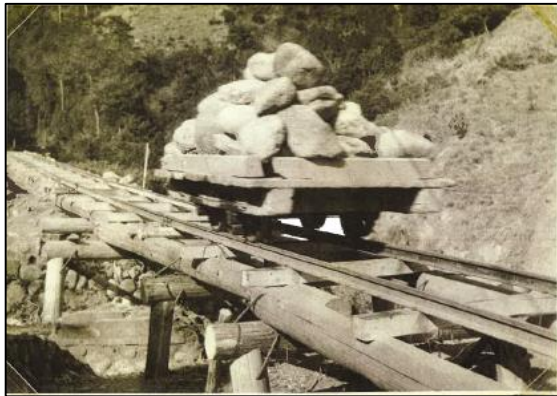


写真2 石材の運搬（インクライン）¹⁾

玉石は軌道(インクライン)による搬入とし、砂・砂利等は索道を利用した。また第一次直轄事業においては、資材運搬道路を作設せず、インクラインや索道による機械化運搬の先鞭をつけたと評価されている³²⁾。

(練積堰堤：石材と石工)

濁沢の溪間対策として石積による堰堤が施工された。アーチ型(幅 2.0m, 高さ 2.2m)の大きな水抜きが設置されており、豪雨時の土砂流出防止を考慮したとみられる。



写真3 濁沢の治山堰堤（アーチ型水抜）¹⁾

放水路天端・側面など破壊されやすい箇所には「役石」を使用し、役石を作設する「石工」という技術者の写真も残されている。

(今宿平地すべりの暗渠工)

濁沢上方の今宿平では、浅層地下水排除のた

めの暗渠工が施工された。暗渠は勾配 2~5%で、深さ 4~8m と規模が大きく、床掘りによる付近の地すべり助長防止と人命の安全確保のために、矢板・松角材・松丸太などの支保材が用いられた。

(木杭による杭打工：昭和 28 年)

今宿平では、今日の杭打工の原点である木杭による杭打ちが多用されている。木杭（マツ・カラマツ丸太：中央径 20 cm, 長さ 5~8m）は 1~2m 間隔に 1 箇所 2 列, 斜面方向では 30~50 m 間隔で打設された。杭の打込み作業では、杭先に金物を設け、杭頭に金環を使用し杭を保護した。また、落錘重量は 150 貫(560 kg)で、15 HP 原動機付き巻き上げ機を用いた。

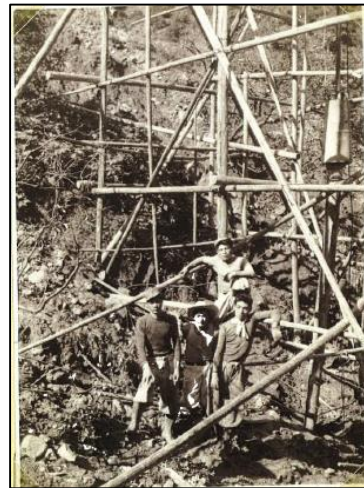


写真4 木杭による杭打ち（今宿平）¹⁾

(隧道：排水トンネル)

中ノ沢では昭和 28 年度に隧道(排水トンネル)が施工された。掘削には木製支保材が使われている。隧道は上長 1m, 下長 1.5m, 高さ 1.65m, 鳥居間隔 80 cm との記載がある。支保材は松丸太や松板が使用され、隧道路盤に杉皮を敷いて掘削中の利便を図ったようである。

(編柵と石積工)

第一次直轄事業では、編柵や石積など、地場産の材料を使った斜面对策が行われている。編柵や石積は古くは 17 世紀の藩政時代から施工されているが、当時は石材と木杭の時代であり、緑化基礎工が確立された時代といえる。

3. 日本初の大規模排土工

—第二次直轄地すべり防止事業—

3. 1 由比寺尾地すべりの発生と対応

(昭和 36 年寺尾地すべり) ^{2), 5)}

昭和 36 年 3 月 14 日、静岡県由比町寺尾地区で地すべりが発生し、当時の国道 1 号を襲い、さらに東海道本線に脅威を与える形となった。

このため、地元住民を緊急に避難させると共に自衛隊の出動により応急作業を進めた。寺尾地すべりの移動土砂量は、約 120 万 m³ である。

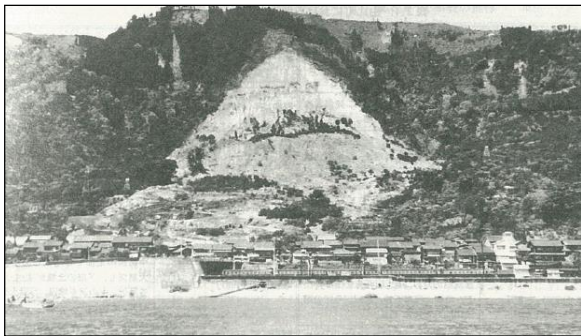


図 5 寺尾地すべり (昭和 36 年 3 月発生)^{19), 20)}

当時は新幹線や高速道路がない時代で東西の幹線が途絶し、長引けば社会不安のもととなるために、国として非常に重要な問題になり、当時の閣議の議題になった。由比寺尾地すべりのために閣僚懇談会が設置され、地すべり防止対策を林野庁が第二次直轄事業として実施し、調査は東京営林局と多くの経験をもつ建設省土木研究所が担当した。由比寺尾地すべり対策は、5 年の歳月と 17 億円の工事費で行われ、昭和 41 年 3 月に概成に至った ^{4), 28)}。

(由比寺尾地すべり調査) ^{2), 5)}

地すべりは底辺幅約 200m、高さ 150m の三角形の急斜面部が崩落し、もともと崖錐堆積帯を呈していた山腹斜面が上部载荷を受けて地すべりに発展したものとされている。地すべりは滑落斜面、崩土堆積区域、および匍行区域に区分され、移動面積は約 8ha で、最大移動速度は約 1.7m/時間である。地質は第三紀の砂質・礫岩・泥岩・凝灰岩等からなり、地すべり移動方向に対して受盤をなしている。また、地すべり地上部の急傾斜面においては礫岩・砂岩が優勢

で、中・下部の緩斜面は泥岩・凝灰岩が優勢となる。また斜面下方では、崩積土の下位に軟質泥岩が厚く(最大 30m)分布している。

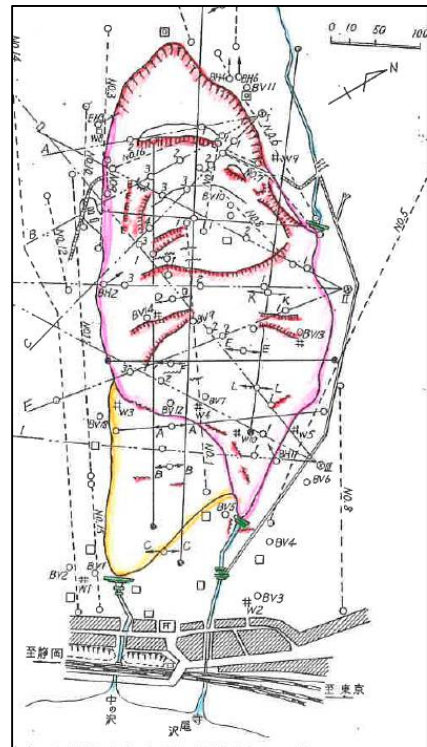


図 6 寺尾地すべり平面図 ²⁾

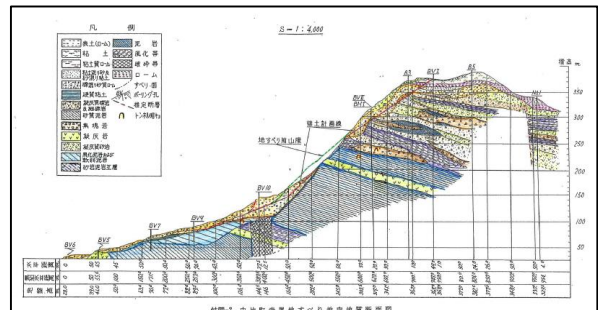


図 7 寺尾地すべり地質断面図 ²⁾

寺尾地すべりの調査は、物理探査として自然放射能探査、電気探査、弾性波探査。地質調査として調査ボーリング(18 孔)、水平調査ボーリング(6 孔)などが実施された。

3. 2 日本初の大規模排土工事

地すべり対策としての本格的な排土工は、日本で初めて由比寺尾地すべりで実施された。

工事については、人見秀武ら(1965)²⁾による詳細な工事報告がある。

(1) 排土工事

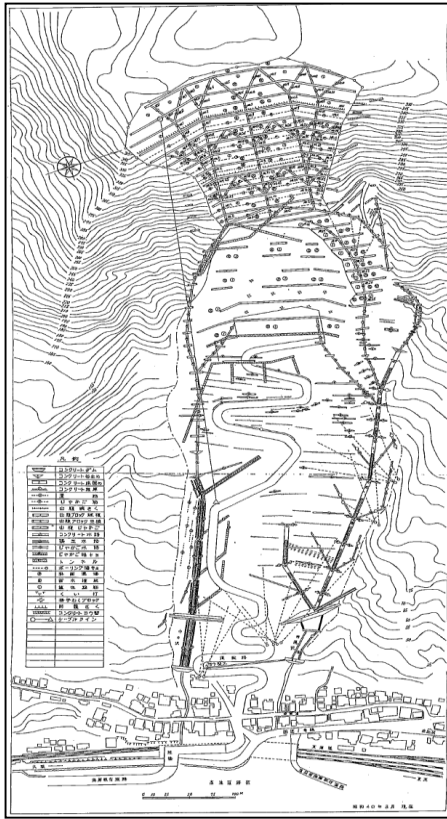


図 8 工事総合平面図 (昭和 40 年 3 月)²⁾

排土総量は 142 万 m^3 で、昭和 36 年 7 月に排土に着手し、昭和 39 年 3 月に終了した。

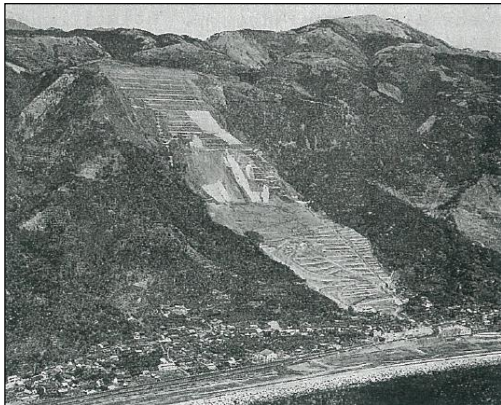


図 9 大規模排土工竣工 (昭和 41 年 3 月)⁴⁾

恒久的な復旧対策の主体は排土工で、地すべり本体の排土 (424,000 m^3) は、第 1 次から第 8 次に区分して 2 年半を要して、地すべり斜面の動向を見ながら施工された。また、山頂部の排土は将来の地すべり発生の芽を摘む目的で、昭和 39 年 2 月から 40 年 3 月までの間に 600,000 m^3 が排土された。

3. 3 排土工事に伴う諸課題

排土工事の進展に伴って、様々な課題が浮上した。

(1) 泥岩排土面・基礎床掘面の脆弱化

泥岩排土面やダム基礎床掘面は、乾燥時において硬質な安定した岩相を呈するが、降雨後たちまち泥土化する。排土面等を放置せず早急に処理することが求められた。

(2) 重機による踏み固めの問題

寺尾地すべりの末端部では、雨水による表土の流出が激しく、また排土用重機に乱された表土の泥濁化により工事はしばしば中断した。これは鋭敏比に富むロームなどの土を重機等でこね返したため、土粒子間の結合組織が壊れて、土の強度が減少したことによるものと考えられる。

(3) 杭打工・擁壁工・治山ダム

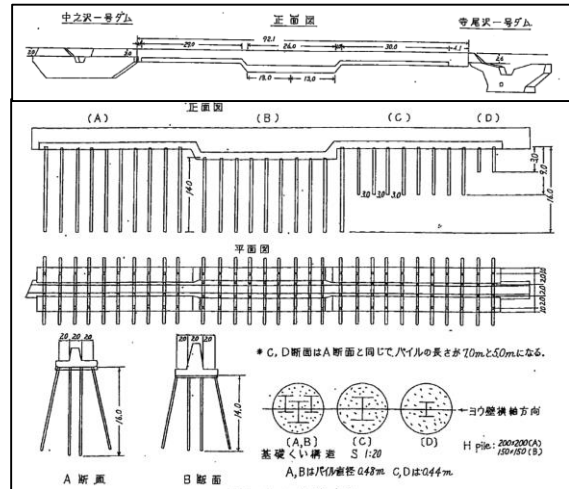


図 10 基礎杭付き擁壁 (L=92.1m)²⁾

このため、昭和 36 年 7 月に寺尾沢への表土流出防止のために 400 本のコンクリート杭が打ち込まれたが、硬質な泥岩部分への打ち込みは難航し、翌昭和 37 年、杭は全て倒伏した様である。その後、昭和 39 年に寺尾沢治山ダムの上流地点で大口径掘削を行い、鋼管杭 (直径 44 cm, 肉厚 12 mm, 長さ 12m) 24 本が挿入された。さらに表土すべり対策として、中ノ沢、寺尾沢では治山ダムや谷止工が施工され、地すべり末端部とみられる中ノ沢と寺尾沢の 1

号治山ダムを結ぶ長さ約 90m に及ぶ土留擁壁工（基礎杭併設）が施工された。

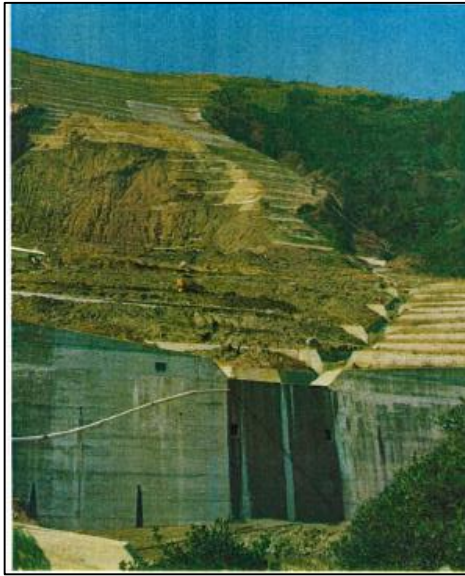


図 11 寺尾沢第 3 号治山ダム⁶⁾

また、寺尾沢においては、1カ所あたり 8m × 6本の鋼管杭を挿入しその上に谷止工を作設した^{5), 6)}。

(4) 排土完成目前の豪雨災害



図 12 国鉄の冠水(昭和 39 年 6 月)³⁾

排土完成目前の昭和 39 年 6 月に豪雨があり、上部斜面の排土積込場の土砂が流出し、中ノ沢・寺尾沢を閉塞したことから、国道・国鉄の 7 時間不通という事態を招いた。²⁵⁾

山頂部の排土のり面には、蛇籠筋・カヤ筋、山腹ブロック練積・空積、山腹蛇積、張り芝水路、蛇籠水路、苗木植栽(クロマツ、ヒメヤシャブシ、トゲナシアカシア)、斜面混播(ウィーピンググラス、ケンタッキー31、ヨモギ、カヤ)、編柵などによる山腹工事(のり面保護工)が行われたが、とくに緑化目標を設定し、雨水浸透

防止に重点をおいた緑化が強化された。



図 13 上部排土のり面の緑化工³⁾

(5) トンネル暗渠および集水井

地表水の集排水のための水路・暗渠工事と並行して、地下水排除のためのトンネル暗渠および集水井がそれぞれ 2カ所施工された。

まだライナープレート等の支保材料は開発されておらず、木枠による構造となっている。

泥質岩層の排水はかなり困難であり、表土の流入もあり、施工あるいは集排水に苦労した様子が報告されている。

(6) 海岸の埋め立て・高速道路の盛土

内陸部を通る予定だった東名高速道路は、現在の位置に変更され、排土は高速道路の盛土や海岸の埋め立てに利用された。地すべり発生から調査、対策工計画・設計など、昭和 30 年代当時としては、極めてレベルの高い技術を駆使し、高速道路の路線変更など、早急な決断で実行された。本格的で大規模な排土工事は、日本で最初の案件である。また、由比寺尾地すべりは、林野庁が担当するその後の地すべり防止事業において、大きな転機のひとつになったものと思われる。

4. 地すべり防止工法の集大成

—第三次直轄地すべり防止事業—

昭和49年7月7～8日にかけて、台風8号の影響により546mm（風篠地区）という異常豪雨が由比地区を襲い、由比の山地は広範囲にわたり地すべりや山腹崩壊、土石流が発生した。その被害は、家屋全壊7棟、半壊32棟、国道1号23日間不通、国鉄東海道線7日間不通となるなど甚大であり、静岡県の調査・応急対策を経て、翌昭和50年度から第三次直轄地すべり防止事業が開始された。



図14 濁沢の土石流災害(昭和49年)²⁵⁾



図15 土石流による集落の被害²⁵⁾

4. 1 地すべり対策の要点

(1) 対策の基本方針

豪雨に起因する地すべり災害を防止するため、治山施設の整備水準を既往最大日雨量となった昭和49年7月豪雨程度の豪雨（風篠、連続降雨量546mm、時間雨量78mm）に耐えるものとし、保全上重要な箇所から工事を施工する²³⁾。

(2) 地すべり防止工

地すべり防止工法は、大きく分けて抑制工と抑止工に分類することができる。抑制工とは、地下水や地形などの自然条件を変化させることによって、地すべりを停止または緩和

させるための工法である。いわば地すべりの体質を変えるための工法である。一方、抑止工とは、構造物を用いて地すべりの滑ろうとする力を力学的に抑止する工法である。由比地区においては、排土工、立体排水工（トンネル暗渠）、鋼管杭工、シャフト工、アンカー工（グラウンドアンカー工）などが用いられた。

由比地すべり防止事業実施区域では、ガス排除工以外の全ての工種が施工された。

（抑制工）：地すべりの発生の原因となる因子の除去・軽減及び地形の変更によって地すべり防止を図るもの²⁵⁾

◇地表水排除工（浸透防止工、水路工）：水路工11,528m、暗渠工3,658mなど

◇地下水排除工：浅層地下水排除工（暗渠工、ボーリング暗渠工、地下水遮断工）・

深層地下水排除工（ボーリング暗渠工、集水井工、トンネル暗渠工、立体排水工）

◇排土工：地すべり防止および上部震災対策として約140万³を排土。

◇抑え盛土工：27,116³

◇ガス排除工：※由比地区では施工されていない。

◇溪間工（治山ダム工、護岸工、水制工、流路工）：谷止工78基²³⁾

（抑止工）：構造物によって地すべりを直接抑止し地すべり防止を図るもの²⁵⁾

◇杭打工：直径300mm以上の鋼管杭、1,924本施工。

◇シャフト（深礎）工：直径4.5m、深さ40～60m、鉄筋コンクリート、72基施工。

◇アンカー工：拡孔支圧型・先端載荷型等のグラウンドアンカー1,588本施工。

4. 2 溪間および斜面の地震対策^{23), 25), 31)}

(1) 地震対策の基本方針—当初の地震対策—

昭和53年度の「大規模地震対策特別措置法」に基づき、「国土庁由比地区震災対策技術委員会」の答申により、昭和57年度から震災対策を盛り込んだ事業が実施された。JR東海道線、国道1号沿いの斜面は急峻な箇所が多く、予想される東海地震等が発生した場合は、斜面の崩

壊、地すべり、土砂流出などの危険が大きいので、通常の地すべり防止工事のほかに、次の地震対策が付加(昭和53年～55年度策定)された。(由比地区震災対策技術委員会答申)^{11), 23)}

直撃ゾーン：直接的被害を受ける下部斜面とその周辺の保全対象地域

- ① 山腹または溪流に待ち受け式工作物を設置し対処する。
- ② 待ち受け式工作物の設置が困難な場合は、直接抑え込み工法等で防止を図る。
- ③ 設計水平加速度：安政元年(1854)11月4日、5日の二つの地震から450gal。

→ 直撃斜面での待ち受け式鋼管土留工を設置し、末端斜面においては、アンカー付法枠工、アンカー工、アンカー併設鋼管杭工、擁壁などを作設する。

間接ゾーン：人家から遠い上部山地

- ① 現崩壊土の残土・溪床の不安定土砂、および水平加速度450gal相当の地震で崩壊する急崖の土砂を対象とする。
- ② 設計加速度は、ダムの堆積土砂が空の状態では450gal。満砂状態では250gal程度の余震を考慮する。

→ 溪流部で土砂待ち受け式治山ダム(オープンダムと呼称)を作設し、治山ダム堆積土砂の浚渫用治山運搬路を整備する。

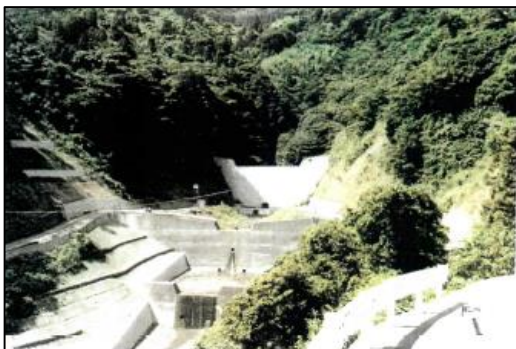


図16 待ち受け式治山ダムと治山運搬路²⁵⁾

(2) 溪流部での待ち受け対策

地震時の崩壊土砂対策は、待ち受け式治山ダムを寺尾大沢および東倉沢の溪流部に作設する。地震時において堆積土砂のない状態で地震に備えるものとし、豪雨等による堆積土砂を速

やかに排除する目的で治山運搬路が溪流部まで施工された。待ち受け用の治山ダムは、幅1.5m、高さ2.1mの水抜きを設けた。

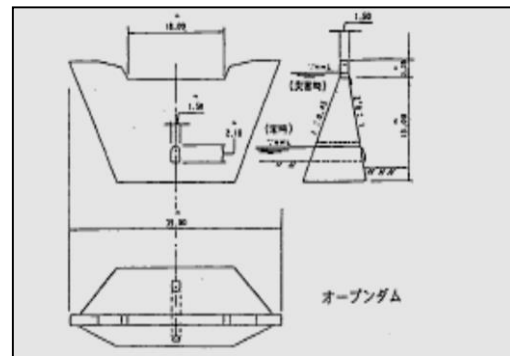


図17 オープンダム構造図(450gal対応)^{19) 31)}

(3) 治山運搬路と鋼管土留め工^{12), 25)}

一方、表層崩壊のモデル地区(東倉沢急斜面)では、450ガル相当の地震時の崩壊発生率は約40%と推定された。ブロック毎に対策を実施するのは難しく、待ち受け式鋼管土留工が採択された。

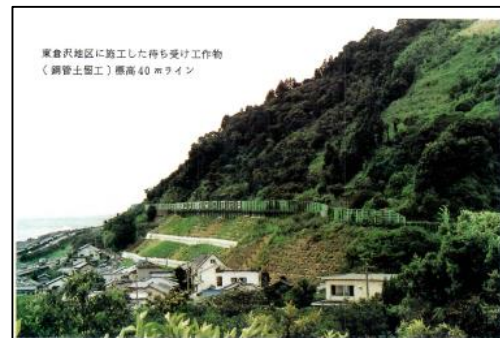


図18 鋼管土留工(東倉沢)²⁵⁾

(4) 斜面末端部の地震対策



図19 アンカー付法枠工²⁵⁾

由比地すべり地の東倉沢・寺尾・濁沢地区は崩壊や地すべりブロック末端の急崖に人家が近接している。したがって、斜面保全度を確保するための待ち受け式工作物の設置は極めて困難であり、直接防止を図る観点から、

アンカー付法枠工，鋼管杭工(アンカー併設)が施工された。

4. 3 上部山地への地震追加対策

(1) 長野県西部地震による山地災害^{14), 15), 16)}

昭和 59 年(1984) 9 月 14 日 8 時 48 分，長野県木曾郡王滝村御嶽山付近を震源とする長野県西部地震(M6.8)が発生した。地震により御嶽山の南東斜面，伝上川源頭部の標高 1,900m～2,550m 付近にかけて 40ha の崩壊(御嶽崩れ)が発生し，土石流となって伝上川から王滝川を走り濁川温泉を埋没させ牧尾ダム湖に流入した。

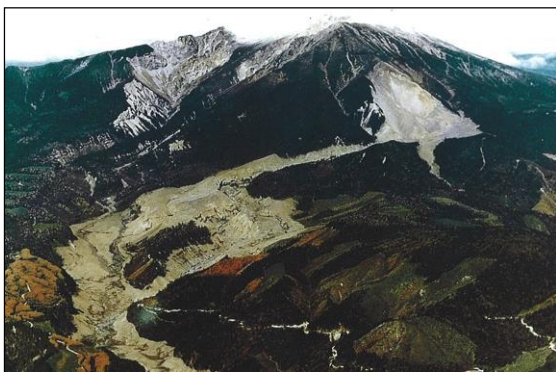


図 20 御嶽崩れと土石流^{16), 18)}

この災害は死者行方不明者 29 名を出す大惨事となり，山地にも甚大な被害を与えた。山腹崩壊で流出した土砂量は，3,360 万 m^3 ～3,600 万 m^3 と推定されている^{15), 16), 18)}。

(2) 地震追加対策

第三次由比直轄地すべり防止事業では，長野県西部地震による山地災害の態様を踏まえて，由比地区技術委員会の答申をもとに上部山地の対策(排土工・立体排水工など)が追加された。由比の上部山地に対する地震追加対策の基本方針と追加対策は，次の通りである。

《長野県西部地震を踏まえた追加対策》

※昭和 60 年度由比地区技術委員会答申^{14), 25)}

長野県西部地震の特徴：

- ① 高標高部に大崩壊発生(標高 2,500m 付近，約 40ha)
- ② 土石流到達距離が大きい(10 km 以上流下)
- ③ 土石流の破壊力が大きい
- ④ 被害範囲が広い(被害区域 480ha) → 由比地区震災対策の見直し(技術委員会開催)

表層崩壊対策：

由比今宿地区で 450gal 程度の地震発生を想定した場合，上部山地では標高補正により地震時の水平加速度は 900～1,350gal となり，西倉沢・寺尾大沢・濁沢の上部 3 地区では 14 箇所を表層崩壊(崩壊土砂量約 68 万 m^3)の発生が予想され，変更計画が策定された。

① 地震時に不安定となる山腹斜面：上部山地の尾根部に堆積する崩積土・ロームを対象

② 地震時の斜面の相対変位量： $U_m \geq 10\text{cm}$ の崩壊ブロックを対象

③ 溪流を經由して保全対象を直撃する崩壊 → 上部山地の排土工，治山ダム工の追加

深層崩壊対策¹⁷⁾：

① 西倉沢地区標高 250m 付近の層厚 10m におよぶ断層地下水の排除

② 大規模崩壊(深層崩壊)の素因を排除 → 立体排水工の追加

4. 4 土木学会・林野庁・静岡県動き

平成 7 年(1995 年)1 月には兵庫県南部地震による「阪神・淡路大震災」が発生し，この災害の教訓をもとに，1996 年 1 月，土木学会から土木構造物の耐震設計基準等に関する第二次提言が公表された。また林野庁においても，治山構造物(土留・治山ダム等)への耐震設計などの治山技術基準が追加改訂された²¹⁾。さらに，静岡県においては「地震対策 300 日アクションプログラム」がとりまとめられ，県内の東海地震対策が強化された。静岡県森林保全課では，「地震時の大規模崩壊対策」，「防潮堤の液状化対策」，「人家裏治山施設の耐震対策」などの調査が行われ，「治山構造物における耐震設計基準」が策定された²²⁾。

4. 5 地すべり監視施設

昭和 50 年から始められた第三次林野庁直轄由比地すべり防止事業は，26 年の歳月と約 385 億円の工事費をかけて，平成 13 年 3 月に概成となった。概成にあたっては，地すべりの挙動等を監視する自動観測システムを構築し，同時

に防災機能を備えた由比地すべり管理センターが設置された。

由比地すべり管理センターは、自動観測システムの集約局、災害発生時の対策拠点、地すべり防止事業報告書等の資料保管、地すべり防止技術の普及広報などの目的で設置され、諸施設は静岡県に引き継がれた。



図 21 由比地すべり管理センター

(1) 自動観測システム

由比自動観測システムで構築されたセンサー類は、雨量計、間隙水圧計、孔内傾斜計、地中伸縮計、地震計、CCD カメラの各計器が設置された。

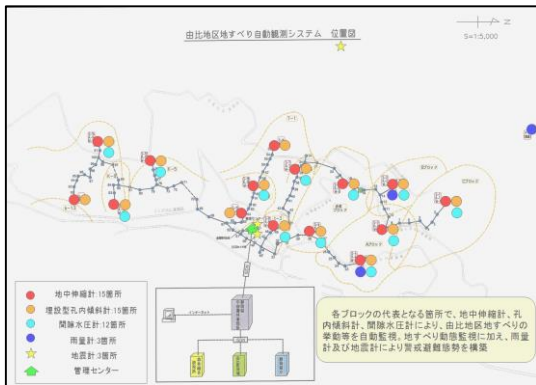


図 22 自動観測監視位置 (25), (29)

(2) データの集積と緊急通知

センサーが観測したデータ等については、通信ケーブルと無線伝達装置によって、由比地すべり管理センター内の自動観測システム室に集約された後、NTT回線を通して静岡県庁、静岡県中部農林事務所、森林総合研究所等の関係機関に転送されるようになっている。また、中部農林事務所に設置したデータベース装置

によってデータが集積されるとともに、異常な数値が観測された場合は、自動的に緊急通知命令が発せられ、電話・FAX・メールによって関係機関や関係者に緊急通知が届くシステムとなっている。

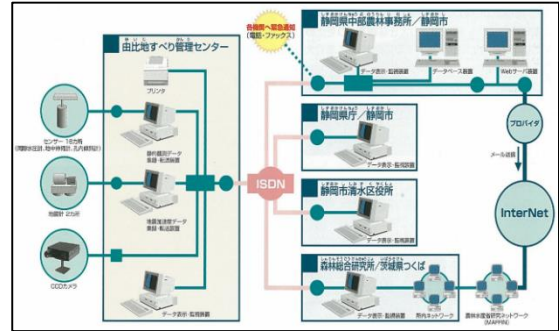


図 23 自動観測システムによる通信網 (25), (29)

(3) 地すべり管理基準値 (24), (29), (30)

地すべり管理基準は、「注意/警戒/避難」の3段階とし、孔内傾斜計と地中伸縮計を用いて、移動量およびその他管理基準値を表のとおり設定した。

表 7 地すべり管理基準値 (移動量)

段階	地表伸縮計基準値	地中伸縮計基準値 ← (×1/3)	孔内傾斜計基準値 ← (×1/3)
注意 (レベルⅠ)	1mm/日 (余裕 30 日)	0.3mm/日	0.3mm/日
警戒 (レベルⅡ)	10mm/日 (余裕 4 日)	3mm/日	1mm/日
避難 (レベルⅢ)	2mm/時を 2 回 または 4mm/時 (余裕 21 時間)	0.7mm/時を 2 回 または 1.4mm/時	0.3mm/時を 2 回 または 0.6mm/時

表 8 その他管理基準値 (雨量・地震)

段階	雨量基準値 (※)	震度階・最大加速度 (想定される災害)
注意 (レベルⅠ)	30mm/時・100mm/日	V弱・80gal (落石・小規模崩壊)
警戒 (レベルⅡ)	50mm/時・180mm/日	V強・140gal (崩壊発生)
避難 (レベルⅢ)	70mm/時・400mm/日	VI弱・250gal (大規模崩壊・地すべり)

5. まとめ

— 治山技術・土木技術への貢献 —

由比地区の地すべり防止事業は、昭和 23 年度から平成 12 年度まで半世紀以上にわたり、総額 408 億円をかけ、地すべり防止工事が実施された。昭和 49 年(1974)の七夕豪雨による災害を最後に、現在まで大きな災害は起きておらず、日本の大動脈を護っている。とりまとめにあたり、由比の治山技術が森林土木としての治山技術、あるいは一般の土木技術において、ど

のような貢献を果たしたのかを考えてみたい。

(1) 石材と木杭の時代 (第一次直轄)

第一次直轄地すべり防止事業では、表面水処理のための暗渠工・水路工、木杭による杭打ち、溪間では石積による堰堤や床固め、のり面では編柵や伏工などが施工された¹⁾。いずれも地場の材料を使った防止工事が行われている。編柵や石積は古くは17世紀の藩政時代から施工されているが、由比地区第一次直轄事業の時代は石材と木杭の時代であり、溪間工や緑化工の基礎が確立された時代といえる。

また資材運搬の機械化として、インクライン、索道がいち早く採用された³²⁾。第一次直轄での施工経験は、その後発生する寺尾地すべりの施工技術において基盤をなすものと考えられる。

(2) 地下水排除技術

寺尾地区の中ノ沢では、昭和28年度に隧道(排水トンネル)が施工された。掘削には木製支保工が使われている。



また昭和36年発生 of 寺尾地すべりにおいても、木製の排水トンネルおよび集水井が施工されているが、泥岩地帯での地下水排除は難航したようである²⁾。抑制工としての地下水排除工が地すべり対策として本格的に適用されるのは、昭和40年代前半にライナープレート支保材が開発されてからである。由比の第三次直轄地すべり防止事業においては、10箇所、5,300mに及ぶ立体排水工、15基程度の集水井が施工されている²⁵⁾。

(3) 杭打ちの変遷

今宿平地すべり地では、昭和28年度に今日

の杭打ちの原点である木杭(マツ・カラマツ丸太)による杭打ちが多用されている。また寺尾地すべり地では、昭和36年度に400本のコンクリート杭が打込まれているが、硬質な岩盤への十分な打込みは難しく、翌昭和37年度に全ての杭は倒伏している^{2), 5)}。



その後、昭和39年度に大口径削孔機を持ち込み、24本の鋼管杭(直径44cm、肉厚12mm、長さ12m)が挿入された⁵⁾。当時は杭頭をH型钢で連結(ラーメン構造)し、杭頭部の一体化を図ったようである。同様の構造を大阪営林局兵庫県畑地すべりの鋼管杭(昭和44年度)⁷⁾にみる事ができる。また新潟県の福本安正(昭和47年)は、鋼管の挙動を把握するために鋼管杭にひずみゲージを添付し、杭のたわみ観測を行っている⁸⁾。治山技術において鋼管杭の挙動と設計式を理論的にまとめたのは申潤植(昭和53年)¹⁰⁾である。申は抑止杭のたわみ方の違いについて、杭頭自由の場合、三角形分布荷重のもとでの βh 値の違いによって、三角型、放物線型、逆三角型の3態で説明されるとし、杭のたわみは地盤の強さとすべり面深さに影響されるとしている。

木杭やコンクリート杭の打込み、大口径削孔による鋼管挿入杭といった治山技術の流れは、由比の地すべり防止事業によって進展してきた杭打ちの変遷を物語っている。

(4) 大規模地すべりへの抑止対策

由比の第三次直轄地すべり防止事業は、地すべり対策工の集大成に特徴がある。通常、大規模地すべりの推力は極めて大きく、これ

を抑止することは工費の面で厳しく、抑制工に頼らざるを得ない現場も多い。

寺尾および濁沢地区においては、69基の深礎杭(シャフト工)が大規模地すべり対策の抑止工として施工された。由比の治山技術が地すべり対策工法に貢献した事項のひとつとして評価される。なお、由比の場合、現場への超大口径削孔機の困難さなどからシャフト杭を採用したが、大型削孔機が搬入可能であれば、超大口径鋼管杭(直径2m程度)²⁷⁾の施工も選択の余地がある。



(5) 排土工

昭和36年発生の寺尾地すべりでは、日本初の大規模排土工が施工された。排土総量は140万m³であり、海岸の埋立て、東名高速道路の盛土に利用された。排土は5年の歳月を要しブルドーザー95万台、ダンプカー43万台、出役作業員23万人と報告されている⁵⁾。

一方、平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は東日本に甚大な影響を与えた。岩手県陸前高田市(人口2万4千人)に來襲した津波は高さ15mで海岸から1.5km付近まで遡上し、海岸林や家屋を壊滅させた。

陸前高田市の復興計画においては、市街地全体を最大11mかさ上げし、二重の防潮堤を築き、将来の津波にそなえるという選択肢をとった。かさ上げに必要な土砂は785万m³で、近隣の山から採取し市街地を盛土する場合、通常の重機では9年要することになる。

したがって、巨大ベルトコンベア(6,000トン/時間：ダンプの5倍以上)を使用し、2年半で施工する計画が採用された。

由比の排土工とは時代が異なるが、由比での大規模排土工の実績が工法選択の参考のひとつになったものと考えられる。



(6) 泥質岩の膨潤とスレーキング

第二次直轄事業においては、泥岩・凝灰岩の排土面やダム基礎床掘面の膨潤などに苦勞し、工事がしばしば中断した。第三次直轄事業においても排水トンネル掘削中の盤膨れなどにより施工ルートを変更したことがある。

今日では、これらの現象は解明され、泥岩や凝灰岩に含まれる粘土鉱物スメクタイトによるスレーキングとして説明されており、地盤工学会などの判定基準も整備されている。

由比地すべり対策で難航した事象が解明されたという点に、治山技術の土木技術に対する貢献が感じられる。

(7) 溪間および斜面の地震対策



由比地すべり地では、昭和53年度から震災対策を盛り込んだ事業が実施された。地震対策のうち、直撃ゾーンでは待ち受け式鋼管土留工を設置し、末端斜面においては、アンカー付法枠工、アンカー工、アンカー併設鋼管杭工、擁壁などが作設された。また、溪流部

では土砂待ち受け式治山ダムを作設し、治山ダム堆積土砂を浚渫するための治山運搬路を整備した。一方、昭和 59 年 9 月発生の長野県西部地震による山地災害を踏まえて、上部山地の対策（排土工・立体排水工など）が追加された。このような広範で重厚な地震対策が実施されたのは全国でも由比地すべり地のみであり、重要な日本の大動脈を護るための対策として特筆される。

（８）治山・砂防関連技術年表

参考表 1 に河川法・森林法制定の明治期から由比地すべり防止事業が概成した平成 12 年(2000)までの法律制定・災害復旧・学会創設などに関する治山・砂防関連技術年表を整理した。

由比直轄地すべり防止事業が開始された昭和 23 年(1948)は治山事業開始から 37 年目にあたり、事業実行中の昭和 33 年(1958)には地すべり等防止法が施行された。これにより、全国の地すべり危険地が指定され地すべり防止事業が全国各地で実施されるようになった。寺尾地すべりが発生した昭和 36 年(1961)は、治山事業が開始されてから 50 年目にあたる。翌昭和 37 年には林野庁治山課と建設省砂防課の人事交流が開始され、治山と砂防の技術情報の交流も始まった。

また、昭和 38 年(1963)には、地すべり総合研究会(日本地すべり学会の前身)が創設され、昭和 39 年(1964)からは建設コンサルタント登録が開始された。第一次直轄事業が開始された昭和 23 年(1948)から昭和 41 年(1966)に寺尾地すべり防止工事が竣工するまでの約 20 年間は、治山事業にとって関連する法律制定や学会創立など、重要な歴史的な出来事が多くあった時

代であった。

昭和 50 年(1975)から平成 12 年(2000)まで、第三次直轄地すべり防止事業が実施された 26 年間は、長野県西部地震(1984)、北海道南西沖地震(1993)、兵庫県南部地震(1995)などの大規模な地震が発生し、構造物や山地に大きな被害を与えた。1996 年には土木学会の耐震設計に関する提言があり、林野庁治山技術基準に耐震設計が取り込まれる契機となった。

（９）由比地すべり管理センター

平成 12 年度に開設された由比地すべり管理センターは、自動観測業務、災害記録の展示施設、事業の広報、研修施設、資料の管理・保管および災害時の現地対策本部などの役目を担っている。地すべり災害の展示施設はかなり充実したもので、国内外にはこのような学習施設は少なく、近隣住民、幼児、学生、事業者及び海外からの見学者も多く、興味を持って学習している。由比地区は重要な保全対象を護る治山技術が集積された地区であり、森林防災教育や広報といった観点を踏まえて、案内看板の更新、過去の治山技術写真の展示、森林土木分野の斜面災害記録写真の掲示など、由比地すべり管理センターのリニューアルを行い、更に充実した施設として維持・更新されることを期待する。

（おわりに）

巻末に参考・引用文献に示す。由比地すべりに関する資料は膨大なものが残されており、半世紀に及ぶ地すべり防止事業の技術概要を整理することに努めた。重要な保全対象を護るための様々な治山技術が少しでも理解され、また貴重な文献リストが斜面防災を考える上で参考となれば幸いである。

参考表1 治山・砂防関連技術年表(法律制定・災害復旧・学会創設など)		
年	治山・砂防技術などの動き	主な社会の出来事
1896(明治29)	・河川法制定	・1894年 日清戦争
1897(明治30)	・森林法 ・砂防法制定	
1899(明治32)	・国有林野法制定	
1907(明治40)	・明治40年、43年 関東、東海地方の諸河川で大水害 ・森林法の一部改正	・1904年 日露戦争
1911(明治44)	・治水事業計画が第27帝国議会で可決 ・治山事業開始	
1913(大正2)	・森林法と砂防法の適用上の調和に関する件、制定	・1914年 第1次世界大戦始まる
1917(大正6)	・加奈木崩壊地(47ha)の復旧対策に着手(高知営林局)、昭和39年完成。	
1923(大正12)	・関東大地震(M7.9)、関東南部、とくに神奈川県西部などに斜面災害多発。	・1923年 関東大震災(死者10万5千人余、都心部で火災被害)
1931(昭和6)	・亀の瀬地すべり(峠地区)発生(大阪府)	・1931年 満州事変
1932(昭和7)	・内務省大阪土木出張所大和川災害事務所設置、亀の瀬直轄施工開始	・1933年 丹那トンネル開通
1938(昭和13)	・阪神大水害(時間最大雨量60.8mm)、六甲山南斜面の崩壊面積:323ha	・1939年 第2次世界大戦始まる
1945(昭和20)	・内務省国土局に砂防課設置 ・(財)建設技術研究所創設	・1945年 第2次世界大戦終結
1947(昭和22)	・農林省の林野局に治山課、新設	・1946年 日本国憲法公布
1948(昭和23)	・アイオン台風。由比で土砂流出、東海道線不通。第1次直轄地すべり防止事業開始	・1949年 湯川秀樹博士にノーベル賞
1951(昭和26)	・砂防学会発足。	・1951年 サンフランシスコ講和条約調印
1954(昭和29)	・保安林整備臨時措置法、制定	・1953年 テレビ放送開始
1956(昭和31)	・治山研究会「治山」創刊。森林開発公団法制定。	・1956年 日本の国連加盟可決
1957(昭和32)	・技術士法(法律第124号)制定 ・昭和33年第1回技術士試験	・1957年 ソ連人工衛星打ち上げ
1958(昭和33)	・地すべり等防止法、制定 ・河川砂防技術基準(案)制定。	・1958年 東京タワー完成
1959(昭和34)	・昭和34年～38年、森林系土木コンサルタント創設。	・1959年 伊勢湾台風
1960(昭和35)	・治山治水緊急措置法、制定 ・土木研究所新潟地すべり試験所、設置。	
1961(昭和36)	・昭和36年3月、由比寺尾地すべり発生。由比で大規模排土工に着手	・1961年 第2室戸台風。災害対策基本法、制定。
1962(昭和37)	・林野庁治山課と建設省砂防課との交流人事開始。 ・建設省砂防部設置。	
1963(昭和38)	・地すべり総合研究会発足 ・松之山(新潟)地すべり対策に集水井を多く採用。	・1963年 黒四ダム完成
1964(昭和39)	・建設コンサルタント登録開始 ・土木研究所地すべり研究室、設置。	・1964年 東京オリンピック。東海道新幹線、東名高速開通。
1965(昭和40)	・林道研究会「林道」創刊 ・地すべり総合研究会、地すべり学会に改称。	・1965年 日韓国交正常化。
1966(昭和41)	・昭和41年3月、由比寺尾地すべり対策工事完成。	・1966年 日本人口1億人突破
1969(昭和44)	・森林部門技術士会発足(会員48名)、会報フォレストコンサル発刊。	
1970(昭和45)	・建設省砂防部に地すべり対策室、設置。	・1970年 大阪万博。よど号ハイジャック。
1974(昭和49)	・静岡市周辺で山崩れ多発(七夕豪雨) ・由比濁沢で地すべり、土石流発生。	
1975(昭和50)	・第3次由比直轄地すべり防止事業開始。	・1975年 ベトナム戦争終結
1984(昭和59)	・長野県西部地震による山地災害発生。御嶽崩れ(土砂量 約3,600万m ³)。	
1993(平成5)	・北海道南西沖地震(M7.3、奥尻島などで津波被害、ホテル裏山で大崩壊)	
1995(平成7)	・兵庫県南部地震(M7.2、阪神淡路大震災、死者6,349人、六甲山系で崩壊多発)	・オウム真理教、地下鉄サリン事件
1996(平成8)	・土木学会耐震設計に関する第二次提言、林野庁治山技術基準に耐震設計追加	
2000(平成12)	・第3次由比直轄地すべり防止事業完成。由比地すべり管理センター、設置	・2001年 中央省庁再編。農林水産省、国土交通省など発足。

(参考・引用文献)

- 1) 東京営林局直轄由比治山事業所(1955):「昭和23年度～30年度由比地すべり防止事業写真集」, 昭和30年5月
- 2) 人見秀武・中尾健児(1965):「由比地すべり対策工事について」, 地すべり Vol. 2, No. 1, 25～37pp
- 3) 大成建設横浜支店由比地すべり防止工事作業所(1965):「由比地すべり防止工事竣工記念写真集」, 昭和40年3月
- 4) 渡正亮(1966):「報告(ニュース), 由比地すべり対策工事完成」, 地すべり Vol. 2, No. 3, 32pp, 昭和40年5月
- 5) 東京営林局(1966):「由比地すべり防止事業実行経過報告書」, 東京営林局編, 昭和41年3月
- 6) 東京営林局(1966):「由比地すべり 竣工パンフレット」, 農林省 林野庁, 昭和41年3月
- 7) 長谷川幸也, 丸森忠(1969):「現場における地すべり防止鋼管杭の挙動について」, 地すべり, Vol. 6, No. 1, pp35-40
- 8) 福本安正(1974):「地すべり防止杭打工法について」, 地すべり, Vol. 11, No. 2, pp21-29, 地すべり学会
- 9) 土隆一ほか(1974): 静岡県の地質図, 静岡大学理学部地学教室
- 10) 申潤植(1978):「弾性床上のハリとしての地すべり抑止杭の式一分布荷重が働く場合」, 地すべり, Vol. 15, No. 1, pp1-9, 地すべり学会
- 11) 林野庁治山課, 東京大学ほか(1980):「地震動による地すべり崩壊発生への影響」, pp40, 昭和55年
- 12) 佐藤武夫(1984):「由比地区震災対策の一環としてのアンカー併設鋼管土留工の設計」, 治山, Vol. 29, No. 8
- 13) 東京営林局由比治山事業所(1985):「由比東倉沢地区震災対策実施設計 設計書・設計図」, 林野庁, 昭和60年
- 14) 山口伊佐夫(1985):「長野県西部地震にともなう山地災害の概況解析・緊急的対応」, 治山 Vol. 29, No. 11
- 15) 川上浩(1987):「長野県西部地震の山崩れ災害と軽石の土性」, 月刊地球, Vol. 9, No. 2, pp79～84
- 16) 長野営林局(1989):「治山事業誌(平成元年度版)」, 長野営林局治山課, 平成元年1月
- 17) 服部正樹, 板倉寿美次(1993):「震災対策としての排水トンネルと地下水の利用計画について」, 第33回治山研究発表会論文集
- 18) 伯野元彦(1995):「被害から学ぶ地震工学—現象を素直に見つめて—」, pp48～49, 鹿島出版会
- 19) 平井孝紀ほか(1996):「静岡県の地すべり」, 地すべり技術, Vol. 22, No. 3(66号), 平成8年3月
- 20) 静岡県(1996):「由比の地すべり」, 静岡県史別編2, 自然災害史, 238～240pp, 平成8年3月
- 21) 林野庁治山課(1996):「治山ダムの耐震設計に関する説明会資料」, 平成8年8月
- 22) 静岡県森林保全課(1996):「治山構造物における耐震設計基準」, 平成8年4月
- 23) 佐藤俊次(2000):「由比地区地すべり防止事業について」, 林業技術, No.703, 日本林業技術協会
- 24) 土佐信一ほか(2001):「地すべり管理基準値の設定手法について」, 第41回治山研究発表会論文集, pp191
- 25) 関東森林管理局由比治山センター(2001):「由比」第三次由比地すべり防止事業概成記念報告書
- 26) 由比地すべり管理センター(2002):「地面が動く! 由比の地すべり」, パンフレット
- 27) 磯貝尚宏, 藤田耕二(2006):「奥大栄地すべりにおける超大口径鋼管杭の設計と施工」, Vol. 43, No. 2, pp31-37, 日本地すべり学会
- 28) 渡正亮(2009):「由比地すべり - 国として重要な問題になった地すべり」, 社団法人 全国治水砂防協会編, 地すべり対策半世紀の道程, pp31～32
- 29) 中村勇樹, 岸本亮ほか(2011):「概成後の地すべり監視体制について—林野庁由比地すべりの事例紹介—」, 第50回日本地すべり学会講演集」, 平成23年8月
- 30) 静岡県森林保全課(2013):「由比地すべり防止事業概成から10年間を振り返って」, 治山 Vol. 57, No. 9
- 31) 内田勉(2013):「治山技術史研究への期待—治山技術上重要な施工地・施設のリスト」, フォレストコンサル No.132
- 32) 一般社団法人日本治山治水協会(2014):「東海の大動脈を守る 由比地区の地すべり対策工事」, pp80～81

(著者)

内田 勉 (うちだ つとむ) / 公益社団法人 森林保全・管理技術研究所 / 技術士 (森林部門・森林土木, 建設部門)