

出國報告（考察）

因應氣候變遷防砂工法研發及整備 技術探討

服務機關：行政院農業委員會水土保持局

姓名職稱：鐘科長啓榮、詹副工程司坤哲

派赴國家：日本

出國期間：102 年 12 月 1 日至 12 月 7 日

報告日期：103 年 2 月 11 日

摘要

本次參訪以「因應氣候變遷之砂防工法研發及整備技術探討」為主題，派員至日本東京、筑波、名古屋地區參訪，除與日本各砂防相關機關交流，並至越美山系砂防事務所、多治見砂防國道事務所及木曾川下流河川事務所實地參訪工程案例，本次參訪除與國土交通省水管理國土保全局、獨立行政法人土木研究所及國土交通省國土技術政策總合研究所座談交流砂防施工減碳轉型對策、河川整備基本方針和河川整備計畫、綜合土砂管理的概要瞭解到日本土砂綜合管理計畫發展及規劃、未來氣候變遷調適策略等，並首次與日本農林水產省林野廳接觸，瞭解到日本治山事業概況、海岸防災林復育、再生基本計畫等面向，更能瞭解到日本各砂防機關治理觀點差異與重點方向、機關協調方式及民眾參與作為等方式，作為國內後續治山防災政策及技術發展參考。

關鍵詞：氣候變遷、砂防工法、土砂綜合管理、治山事業

目次

第一章 考察目的與行程.....	1
1.1 考察緣起及目的	1
1.2 考察人員	1
1.3 考察行程規劃	1
第二章 考察單位介紹及內容說明.....	3
2.1 日本農林水產省林野廳	4
一、日本治山事業概況	5
二、海岸防災林復育、再生基本計畫	11
2.2 日本國土交通省水管理國土保全局	16
一、日本氣候變遷土砂災害對策	16
二、河川流域砂防計畫作成及修正方法	20
三、砂防施工減碳轉型對策	25
四、河川整備基本方針和河川整備計畫	26
五、氣候變遷對河川整備計畫之影響及其調適策略	28
六、綜合土砂管理的概要	31
2.3 獨立行政法人土木研究所及國土交通省國土技術政策總合研究所	35
一、氣候變遷的土砂災害對應研究	35
二、氣候變遷的土砂生產量(以堰塞湖為例)	37
三、砂防基本計畫以及事業評價手法的高度化	40
2.5 越美山系砂防事務所	42
一、鷺巢谷第一砂防堰堤	43
二、宇津治谷第一砂防堰堤	47
2.6 多治見砂防國道事務所	50
一、市之倉おりべ砂防堰堤	51
二、市之倉第 4 砂防堰堤	53
2.7 木曾川下流河川事務所	54
一、輪中	56
二、高須輪中排水機場	59
第三章 心得與建議	61
3.1 治山防災因應氣候變遷調適策略	61
3.2 工程現勘	62

第一章 考察目的與行程

1.1 考察緣起及目的

台灣山坡地面積遼闊，坡度陡峭，人口眾多，然而因台灣地區雨量充沛，降雨常集中於颱風豪雨季節，常造成許多坡地災害，另一方面，近年來數次遭受大規模氣候變遷災害，使氣候變遷議題已成為國人注目的焦點，故相關治理及防災技術之提升刻不容緩，因日本地形條件與災害類型與台灣相近，期望透過考察與技術交流獲得寶貴新知，作為辦理水土保持相關業務之參考。

此次考察目的主要瞭解日本對於氣候變遷的調適策略與治山防災技術，以利提昇我國在水土保持方面因應氣候變遷的策略與技術。

1.2 考察人員

本次考察人員主要以水土保持局為主，另中興工程顧問股份有限公司亦派員隨行參訪。

單 位	職 稱	姓 名
行政院農業委員會水土保持局保育治理組	科長	鐘啓榮
行政院農業委員會水土保持局保育治理組	副工程司	詹坤哲
中興工程顧問股份有限公司	副理	謝國正
中興工程顧問股份有限公司	工程師	鍾文祥

1.3 考察行程規劃

考察行程自 2013 年 12 月 1 日出發至 12 月 7 日返程，共 7 日，分別參訪東京、筑波及名古屋等地區。

日期	星期	行程內容
12/1	日	09:00 搭乘華航 CI 220 班機由台北松山機場前往日本
		12:40 抵達日本東京羽田機場
12/2	一	拜訪位於六本木日本交流協會 與日本農林水產省林野廳進行交流
12/3	二	拜訪位於六本木日本交流協會 與日本國土交通省水管理國土保全局進行交流

12/4	三	拜訪位於筑波之國土交通省國土技術政策總合研究所 拜訪位於筑波之獨立行政法人土木研究所
12/5	四	拜訪越美山系砂防事務所 拜訪多治見砂防國道事務所
12/6	五	拜訪木曾川下流河川事務所
12/7	六	由名古屋至中部國際機場 12:45 搭乘華航 CI155 班機飛返臺灣
		15:15 抵達桃園機場

第二章 考察單位介紹及內容說明

日本砂防相關單位主要依據不同的法律規定，分別由農林水產省（簡稱農林省）和國土交通省（簡稱國土省，前身爲建設省）負責執行。農林省負責「土地改良法」、「森林法」有關工作。國土省負責「砂防法」、「陡坡地崩塌防止法」和「土砂災害防止法」的有關工作。「滑坡防止法」、「治山治水緊急對策法」由兩省共同負責。國土省設水管理及國土保全局砂防部，農林省設有林野廳治山課。日本砂防的相關單位體系如圖 2-1：

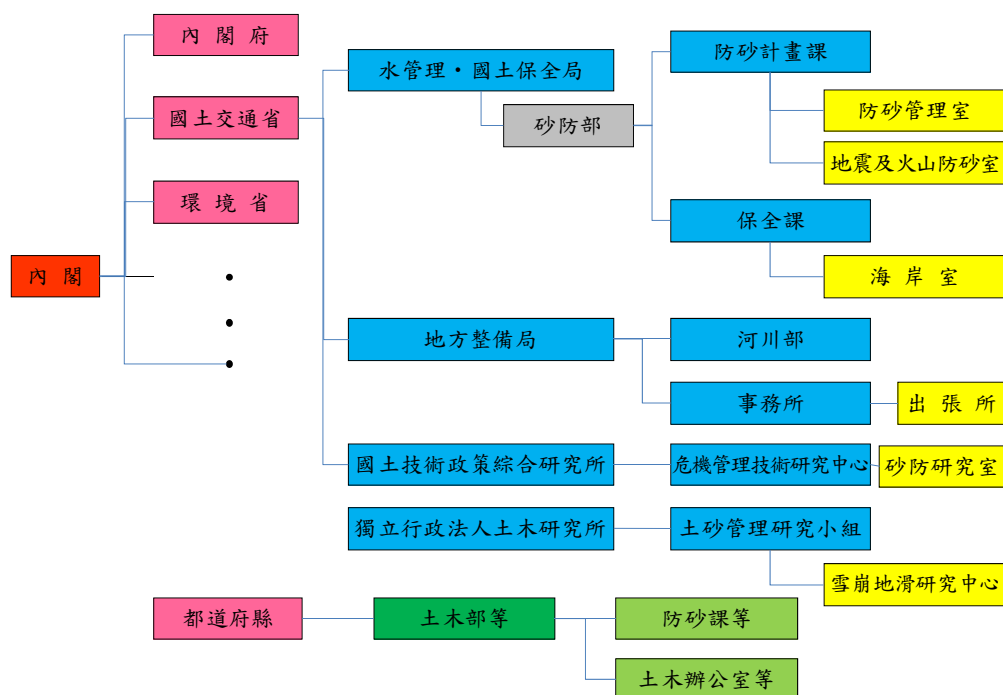


圖 2-1 日本砂防單位組織架構圖

國土省的砂防機構主要設在河川局和地方整備局。河川局下設砂防部，有 45 人，內設砂防計畫課和保全課。砂防計畫課主要負責砂防預算的編制和監督執法管理，下設總務系、預算系、規劃系、計畫系，2001 年新設砂防管理室（下設管理系和法規系）。保全課主要負責砂防工程的建設與管理，下設總務系。直轄砂防系、補助砂防系、滑坡系、陡坡崩塌系和海岸室。地方整備局下設事務所，全國共有砂防所 30 多個。另外，國土技術政策研究所是國土省直屬的科研機構。除此之外，獨立行政法人土木研究所也是重要的砂防事業外圍組織。

農林省在林野廳的森林建設部和國有林野部各設有治山課和業務課。治山課有 40 多人，負責民有林（縣、村、居民所有的森林）的管理，分為計畫、監督監察、災害、規劃、指導等 5 個班。業務課 4 人，負責國有林的管理。同國土省一樣，派駐全國各地有 14 個森林管理局 300 個管理署，每個管理局均內設治山課。管理局下有管理署，署下有事務所。另外，林野廳還有森林技術綜合研究所等單位。在地方，日本各都道府縣亦設有砂防課（河川課）和林野課（農林課、林漁課），由專職人員進行砂防相關工作。

國土交通省另設有「國土技術政策綜合研究所」(National Institute for Land and Infrastructure Management，簡稱 NILIM，國總研) 辦理國土交通省所轄事業之調查、試驗、研究、開發等業務，其下於「危機管理研究中心」設有「砂防研究室」；另外獨立行政法人之土木研究所則設有土砂管理研究小組，其內設「雪崩、地滑研究中心」辦理相關之試驗、研究、策略等事宜；設火山・土石流小組 (Volcano and Debris Flow Research Team) 對於受到暴雨、地震影響之火山噴發、堰塞湖造成的山崩等災害，研擬有效技術的援助，包含開發監測方法、監測、評估估發生位置損傷範圍、規模等。

2.1 日本農林水產省林野廳

日本農林水產省組成包含有農林水產省本部與糧食廳、林野廳、水產廳、地方農政局四個附屬機構所組成，而在農林水產省本部之下，則設有大臣辦公室及經濟局、構造改善局、農產園藝局、畜產局、食品流通局四個直屬機構，其中林野廳設有林政部（內設林政課、企劃課、經營課、木材產業課及木材利用課）、森林整備（整建）部（內設計劃課、整備課、治山課及研究保全課）及國有林野部（內設管理課、經營管理課、業務課及職員厚生課）。主要辦理森林保全、林業健全發展、林產物安定供給、林業相關人員的福祉等森林林業基本法所訂定諸事宜。

林野廳下設有「林政部」、「森林整備部」及「國有林野部」等三大部門詳如圖 2-1 其中與以森林整備部與本局治山防災業務較為相關。

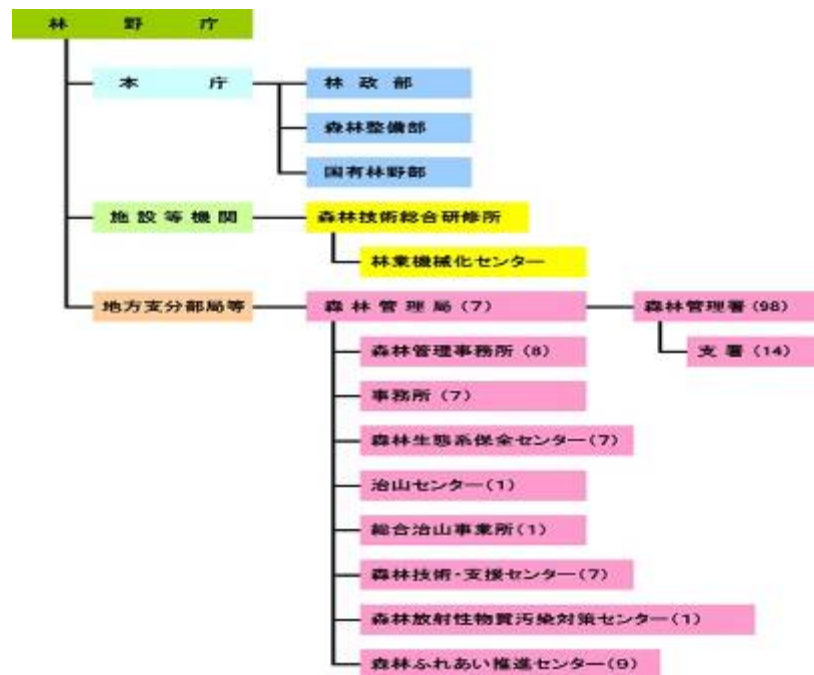


圖 2-2 林野廳組織架構圖

以往考察研習，主要以國土交通省轄下單位為主要對象，而林野廳則是第一次參訪，主要為研習該機關之治山計畫之概要及重大災害事變後之復建作為。本次研習課程，主要由「森林整備部」企劃課之海外林業協力室課長補佐氷見章先生說明日本治山事業概況，及治山課海岸林復舊指導官日下部浩先生說明海岸林之復舊基本方針。

一、日本治山事業概況

日本自江戶時代開始，因為結束了長期的戰亂，在政權穩定之情形下，社會發展、經濟活絡，因而使得人口顯著成長，使得公有林地成為一般庶民百姓爭奪飼料、肥料、燃料及建材的場所，導致森林大幅開發，林木遭砍伐而導致使坡地呈現裸露狀態(圖 2-3)。



圖 2-3 江戸時期的日本山林

直至明治 13 年(1897 年)制定森林法後，山坡地開始復育。透過森林法中的保安設施事業及地滑防止事業推動，使得森林得以開始復育，並透過適當的管理，以發揮其涵養水源、防止土壤沖蝕的功能。目前為平成 16 年(1985 年)修訂版本，該法第 1 條：「本法訂定有關森林計畫、保安林及其他森林之基本事項，圖能增進森林之永續培養及森林生產力，並以資助國土復育及國民經濟永續發展為目的。」，其中最為重要的是規範森林計畫制度、從業者政策、林業普及及指導事業、保安林、保安設施地區等，透過以流域別為主的森林計畫 訂定、有節制（擇伐、間伐等方式）伐林、森林施業計畫及受到限制的開發等，來達到森林保育的目標，另第 4 條第 4 項：「全國森林計畫必須與環境基本法第 15 條第 1 項規定環境基本計畫相互調和。」緊密連結環境與森林的關係，保安林的設置於第 25 條即明訂，有涵養水源、水土流失防止、減少洪峰流量、土砂崩塌防止等，為保育為觀點的法令，第 31 條亦限制其開發行為，以永續發展觀點來看，這樣的森林計畫、保安林措施對於流域治理有間接但重要助益。（如圖 2-4）

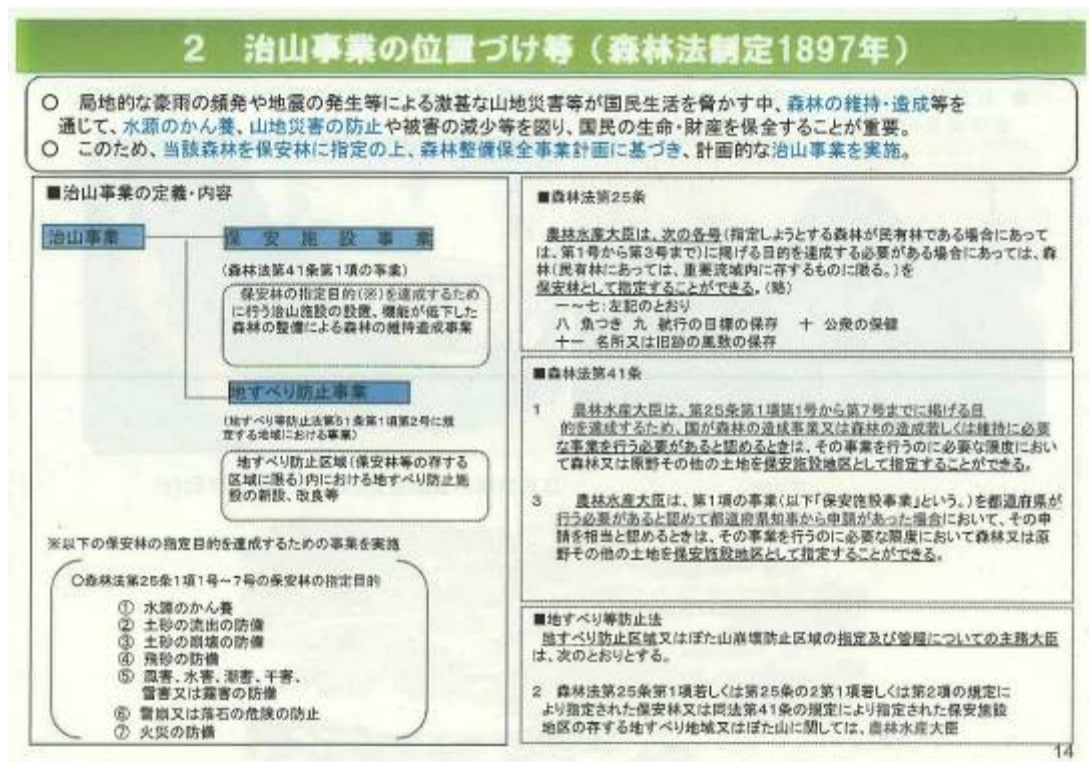


圖 2-4 日本森林法治山事業相關條文

日本的治山事業是依據森林法，辦理林業經營以及山地禿山、荒廢地（退化土地）森林保護及安全設施，也包含海岸保安林。日本的國土面積約 70% 為森林，森林中國有林約 30%，私有林約 70%。換句話說，日本森林中私有林面積為國有林的兩倍多。這點與台灣的情形有很大的不同，因為台灣多數森林屬於國有林。也正因為日本私有林為數眾多，私有林的荒廢對地方社會的經濟力、社會力都有不小的影響，所以強調社區居民參與的社區林業政策就更形重要。

同時訂定森林整備保全事業計畫，以維護森林生長狀況為目標，保護森林生長環境的山地災害防治工作有防止邊坡坍塌、控制沖蝕溝，也防止過剩土砂輸送至下游威脅保全對象安全。

透過適切的坡地災害防止對策可以有效降低災害風險，亦可使坡地災害之規模及影響範圍降低，林野廳在山坡地災害防止對策有四大主軸：如圖 2-5

1. 森林整備：以推動多樣化、健康的森林為主，利用森林間伐、複層林相，針闊葉林混植等方法，強化森林的整備力，提高森林的抗災能力。
2. 治山對策：主要以治山設施之配置，如設置防砂設施，減少土砂災害發生，加速災區復舊。
3. 保安林制度、林地開發許可制度：利用伐採限制、開發行為的限制，以管理

手段減少土砂災害發生。

- 4.警戒避難：如劃定山坡地災害潛勢地區及強化危險警戒通報，以軟體防災作為，減災土砂災害之影響。



圖 2-5 山地災害防止對策

(一) 近年山坡地災害概況

在土砂災害方面，由於日本地理環境特殊，境內有為數高達 110 個活火山，導致日本地震發生頻率較高，約佔每年全球地震次數之 20%，此外也是颱風行經路線之一，造成日本土砂災害狀況更形嚴重，其中尤以日本中部為甚。

二次大戰後，由於戰時軍需及戰後復建需求，導致日本境內森林又遭大量砍伐，而導致全國性的林地荒廢。幸而不久日本又開始積極造林，因此目前日本境內之森林是屬於成熟階段，因而表層崩塌災害已較過去降低。反而滑動面深度超過林木根系深度的深層崩塌發生次數過去來得多。

依據統計資料顯示，土砂災害的崩塌深度已從 1959 年的平均 1.8 公尺，至 2007 年已上升至 2.8 公尺，而單一處所之受災規模亦上昇近 3 倍。以 2011 年發生之 311 地震為例，林野廳統計資料顯示，該地震造成損失高達 3049 億日元，其中高達 3295 個林地荒廢，損失達 1723 億日元，治山設施受損亦達 591 處，損失達 1327 億日元，而單一處所之受災規模亦高達 8100 萬日元，詳如圖 2-5、圖



圖 2-6 311 地震造成災害分布圖

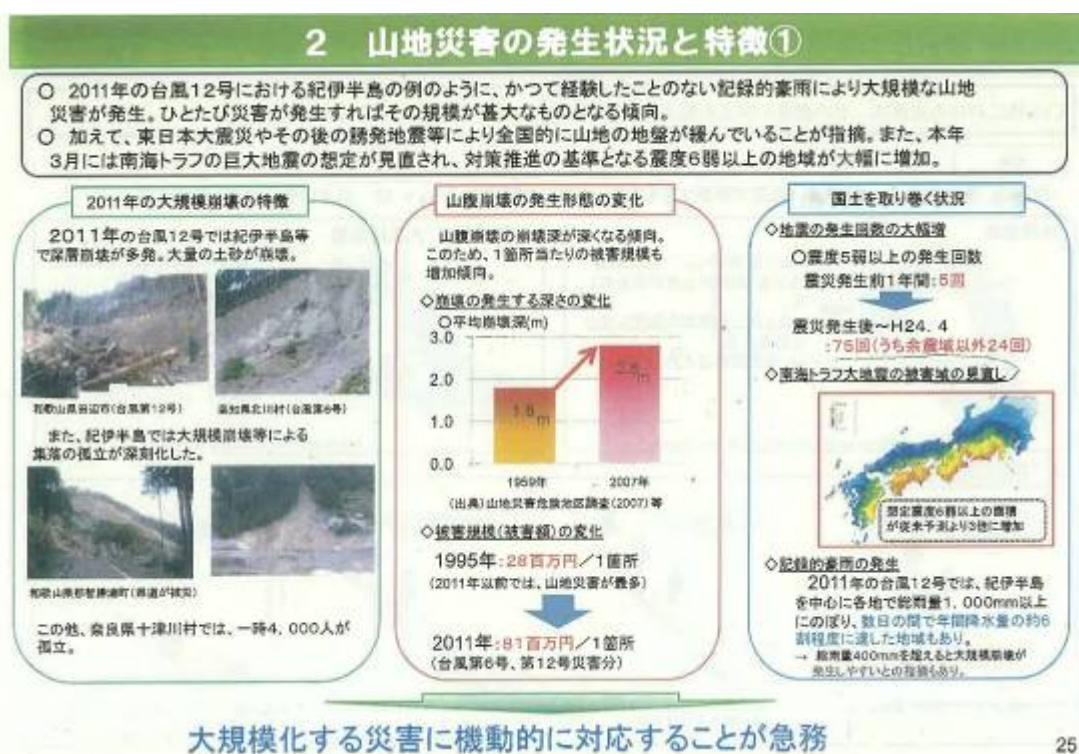


圖 2-7 山坡地災害

(二) 漂流木之處置

深層崩塌所衍生的漂流木問題，也是導致災害規模擴大之主要原因之一。這於深層崩塌的滑動面遠大於林木根系所固著的土壤深度，因此林木或附著於崩滑土體，或成為伏倒木，當颱風、豪雨來臨時，即成為阻塞河道的最大元兇。目前日本主要抑制漂流木的方法是以透過性防砂壩進行漂流木攔阻，稱為流木捕捉工，並適時清除漂流木，維持透過性防砂壩空庫之狀態，以攔阻下次的土砂及漂流木(詳圖 2-7)。



圖 2-8 漂流木捕捉工

(三) 與國土交通省權責區分

日本山坡地治理主要由國土交通省水管理與國土保全局砂防部與農林水產省林野廳負責，林野廳治山工作主要以預防為主，係以堰堤方式，由上而下治理，以提供適當植林環境，旨在提升森林多樣功能，是為預期事業經營所需而先作相關處理。保全對象是森林。水管理國土保全局則以治理大規模土砂災害為主，利用大規模防砂壩由下而上進行整治，旨在維護下游河川正常治水功能，是環境災害已影響下游保全對象才做處理，保全對象是房舍、道路。

其交界處通常透過協調機制分工合作辦理，一般災害發生後在私有林部分由地方政府介入，國有林則有中央政府處理，當私有林產生大規模災害時，則由中央進政府進行指定，部分區域亦透過協調機制委由地方政府辦理。

(四) 政府對私有林之管理方式

日本國有林由中央政府管理，私有林按政府權責分工原理由地方政府管

理，除非議題重大而地方政府無法處理時，中央政府才以協同方式處理。當私有林被指定為保安林之民有林，寧願採不間伐、不造林之自然原則。由政府補貼金額，每公頃約 15 萬至 40 萬日幣。台灣獎勵平地造林為 20 年期限之補助金額（240 萬＝造林獎勵金 60 萬＋直接給付 180 萬）。



圖 2-9 會後與林野廳氷見章先生合影留念

二、海岸防災林復育、再生基本計畫

海岸防災林復育及再生主要係因 2011 年 3 月 11 日地震（震央仙台）產生平均 10m 海浪（最高 40m），然而日本海堤高度平均為 10m，而海岸防災林亦多被淹沒或傾倒，因此產生大量災害（災害情形如圖 2-10）。

經由這次災害發現海岸防災林除原本防止飛砂、減少沖蝕及防護海風等功能外，在防護海嘯有極大功能，如延遲海嘯到達時間、補抓漂流物等功能（如圖 2-11）。

Situation of damage of coastal disaster-prevention forest ①

Pre-disaster (2005@ Iwanuma-city)



Post-disaster (2011)



7

Situation of damage of coastal disaster-prevention forest ②

- ✓ Damage to the coastal disaster-prevention forest by tsunami found to be depend on condition of its location
- ✓ Damage to forest could be mainly categorized into "Trunk broken", "toppling", "tilting"



"Damaged coastal disaster-prevention forest and wreckage", Hachinohe city, Aomori



"Trunk Broken", Noda village, Iwate



"Toppling", Sendai city, Miyagi



"Tilting", Natori city, Miyagi

8

圖 2-10 海嘯後受災情形



圖 2-11 海岸防災林功能

災害後，日本針對 311 地震召開五次「東日本大震災海岸防災林再生研究檢討會」檢討防災林松樹根淺及地下水位高兩個主因可能造成防災林效果不彰，海岸防災林原本是爲了防止海岸土壤鹽鹼化和減少揚塵而種植的，但此次日本大地震引發海嘯後，發現海岸防災林只要有足夠縱深，就可以阻止隨海嘯而來的船隻和瓦礫對住宅的破壞，並減緩海水奔湧的速度。日本即進行海岸防災林與海嘯災害的關係總調查，並考慮未來在很可能發生海底地震的靜岡縣等地利用海岸防災林遏制海嘯。

同時提出海岸防災林復舊原則：

- 1.從實際調查資料基礎上，認爲除減輕海嘯廣泛災情的觀點外，尚須兼具確保該地區的防災功能，如防沙、風害等，提供多重防禦功能。
- 2.考量各地受海嘯影響不同各地因應措施亦有所差異，在保護生態系統及該地區乃至當地的災難情況下的需要，做出因地制宜的考量（如圖 2-12）。
 - (1)寬闊海岸平原區：以復舊確保海岸防災林寬度以及必要功能，並在復舊過程增加人工填土（無害的再生骨材）以確保必要功能。
 - (2)狹窄谷間平原，缺乏腹地：原形復舊，可增加人工填土（無害的再生骨

材)以確保必要功能。

(3)復舊過程增加防潮堤以確保必要功能。

3.確保必要功能之措施：樹木植栽由企業及非政府組織之民間協力方式辦理，實施期程為5年內完成墊高生育基盤，10年內復舊所有海岸防災林(圖2-13)

(1)培養植栽的生育基盤：地表再墊高2至3公尺，確保植物根系不接觸到鹽化的地下水。

(2)植栽樹種：複層種植方式分為海側、中間及路側三種區域，種植不同闊葉樹或針葉樹上下層木(如圖2-14)

A、臨海側：以耐風砂、鹽水、寒風之樹種。植栽高度向海測降低。以消滅海嘯能量為主。

B、臨陸側：以大胸徑之高大闊葉樹，具備防風功能。以消滅海嘯能量、補抓漂浮木為主。

C、最臨海側：楔形土堤以減輕風吹砂及消滅海嘯能量為主：

4.廢物再利用：利用海嘯帶來帶有高度鹽分土壤於海岸適當地點由環境省與農林省共同合作構築10米至20米高的土丘，作為海嘯緩衝地帶，部分地點亦可作為保護住宅區方案。



リアス式海岸部など林帯幅が狭い箇所や施設のための被災箇所では、
原形復旧若しくは施設の改良により必要な機能を確保

○原形復旧

○施設の改良

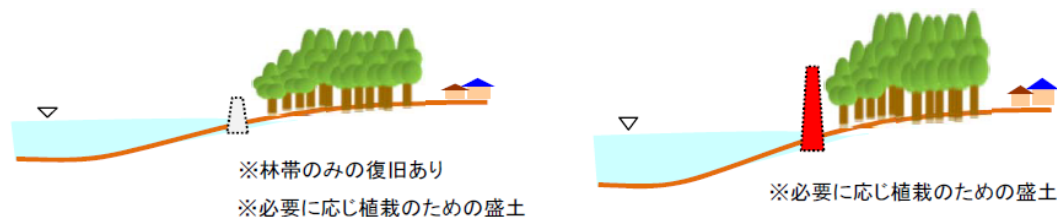


圖 2-12 海岸防災林規模因地制宜原則

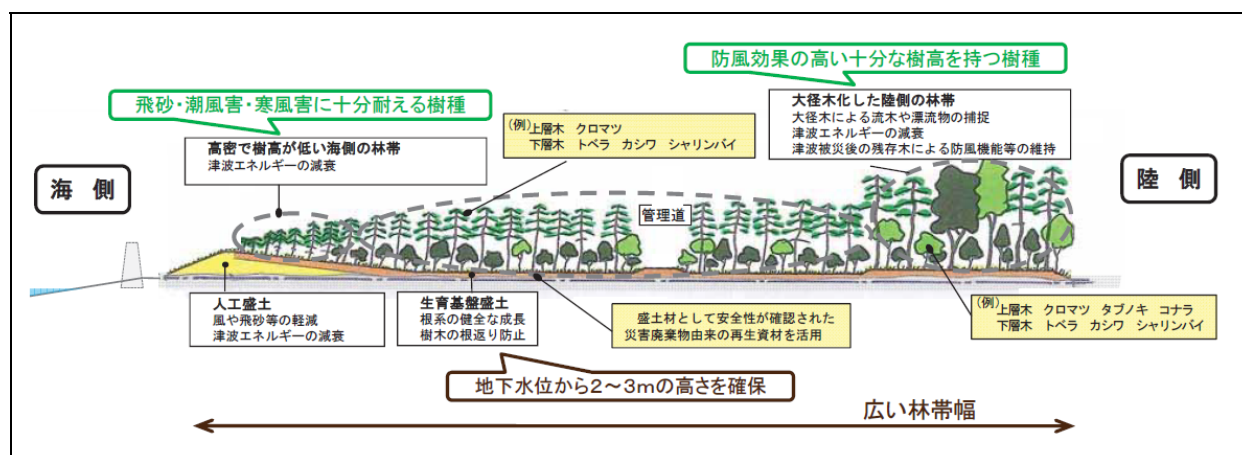


圖 2-13 海岸防災林願景圖

海岸防災林造成における植栽樹種について

○海岸防災林には、潮害の防備、飛砂、風害の防備等の災害防止機能や地域の生活環境の保全に重要な役割
○海岸防災林の造成地は環境条件が著しく悪いことから、飛砂、潮風及び寒風等の害によく耐えるなどの条件を有する樹種を選定

海岸防災林に使用される一般的な樹種

◇ 海岸防災林造成で一般的に用いられる樹種は次のとおり。
・針葉樹：クロマツ、アカマツ等
・広葉樹：カシワ、トベラ、タブノキ、コナラ、エゾイタヤ等

海岸防災林に使用される樹種、陸側に植栽する樹種の条件

◇ 海岸防災林造成地の海側、陸側に植栽する樹種の条件としては、
海側：飛砂、潮、風等を直接受けることから、飛砂、潮風及び寒風等の害に十分耐えるもの
陸側：防風効果を高めるため、保全対象に対し十分な樹高をもつもの

区域区分による植栽樹種例

海側		中間		陸側	
上層木	下層木	上層木	下層木	上層木	下層木
クロマツ アカマツ		クロマツ アカマツ		クロマツ アカマツ	
	アキグミ カシワ ハマナス トベラ シャリンバイ	タブノキ エノキ シロダモ ハンノキ	アキグミ トベラ カシワ ハマナス シャリンバイ ヤブツバキ ネズミモチ	タブノキ エノキ シロダモ ケヤキ コナラ エゾイタヤ	アキグミ トベラ カシワ ハマナス シャリンバイ ヤブツバキ ネズミモチ

圖 2-14 海岸防災林植栽樹種與方式

2.2 日本國土交通省水管理國土保全局

平成 23 年國土交通省進行單位重整，為將水資源管理事務統一辦理，增進國土保全整體性業務推動，將河川局、土地及水資源局水資源部、都市及地區整備局下水道部等三個單位整併為水管理與國土保全局，期望在氣候變遷衝擊下，針對水資源從上游到下游，甚至都市地區能整體性管理及規劃。另由於地震、火山頻仍，於砂防部下增設地震火山防砂室，以負責相關業務。

12 月 3 日參訪研習，主要以國土交通省水管理與國土保全局轄下單位為主要對象。本次研習課程，主要與國土交通省水管理與國土保全局「砂防部」及「河川計畫課」進行交流，首先由砂防部之防砂計畫課岡本敦先生說明日本氣候變遷土砂災害對策，接著林孝標先生說明河川流域砂防計畫作成及修正方法，吉田裕敏先生說明砂防施工減碳轉型對策；另由河川計畫課河川計畫調整室宮藤秀之先生說明河川整備基本方針及河川整備計畫，再由中須賀淳先生說明氣候變遷對河川整備計畫之影響及其調適策略，最後砂防部保全課飯野光則先生說明總合土砂管理概要。

一、日本氣候變遷土砂災害對策

日本因受地理、地形、以及氣象等各種條件的影響，容易發生颱風、暴雨、暴雪等天然災害。其年平均颱風侵襲次數約 3 次，於 2004 年竟發生 10 次颱風，為日本土砂災害主要誘因。

過去 10 年間日本全國土砂災害發生次數為每年平均 1000 次以上，以 2004 年 2,537 次最多（圖 2-15）。

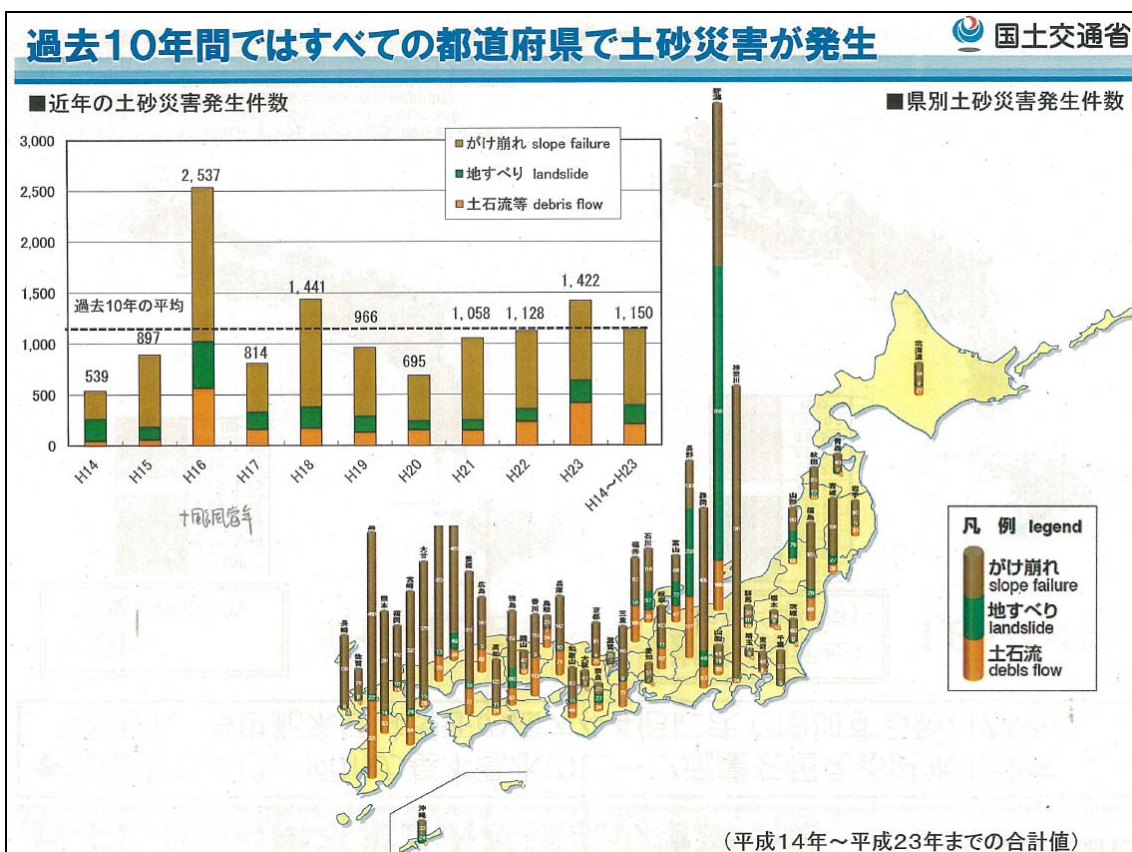


圖 2-15 過去 10 年間全国土砂災害発生次數

日本氣象局統計日本 1,300 處雨量站得知強降雨強度(50mm/hr，100mm/hr)發生次數持續增加，依據 A1B 這種氣候變遷情境趨勢推估日本降雨量在本世紀末平均降雨量(2075~2099)為現況(1979~2003)之 1.1 至 1.3 倍，使得洪水重現期距變為現況之 1.8 倍至 4.4 倍。因此，氣候變遷將使得土砂災害發生次數及規模逐漸增大，如圖 2-16。

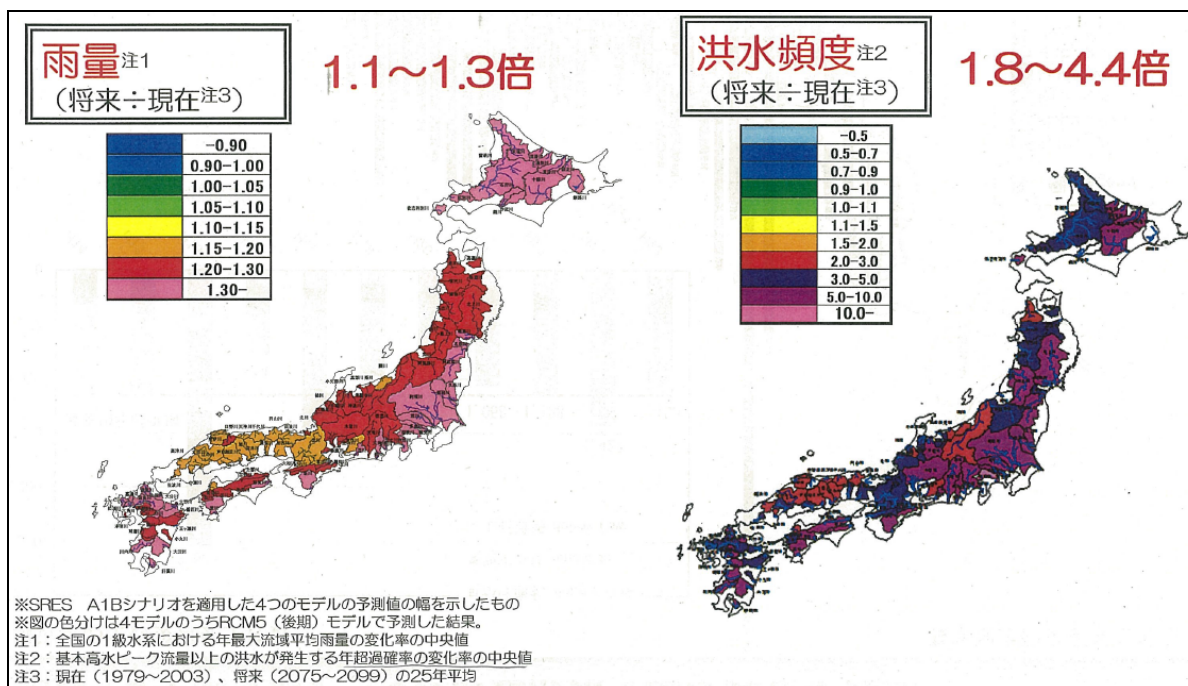


圖 2-16 日本於本世紀末之降雨量及洪水重現期距變動範圍分布圖

日本土砂災害防治對策法令體制 4 項法律為明治 30 年（1897 年）「砂防法」、昭和 33 年（1958 年）「地滑防止法」、昭和 44 年（1969 年）「陡坡地崩塌防止法」和平成 11 年（1999 年）「土砂災害防止法」，可知前期法規均為工程對策，後期逐漸改為非工程對策，近年更不再發展工程對策，而是持續修訂非工程對策。

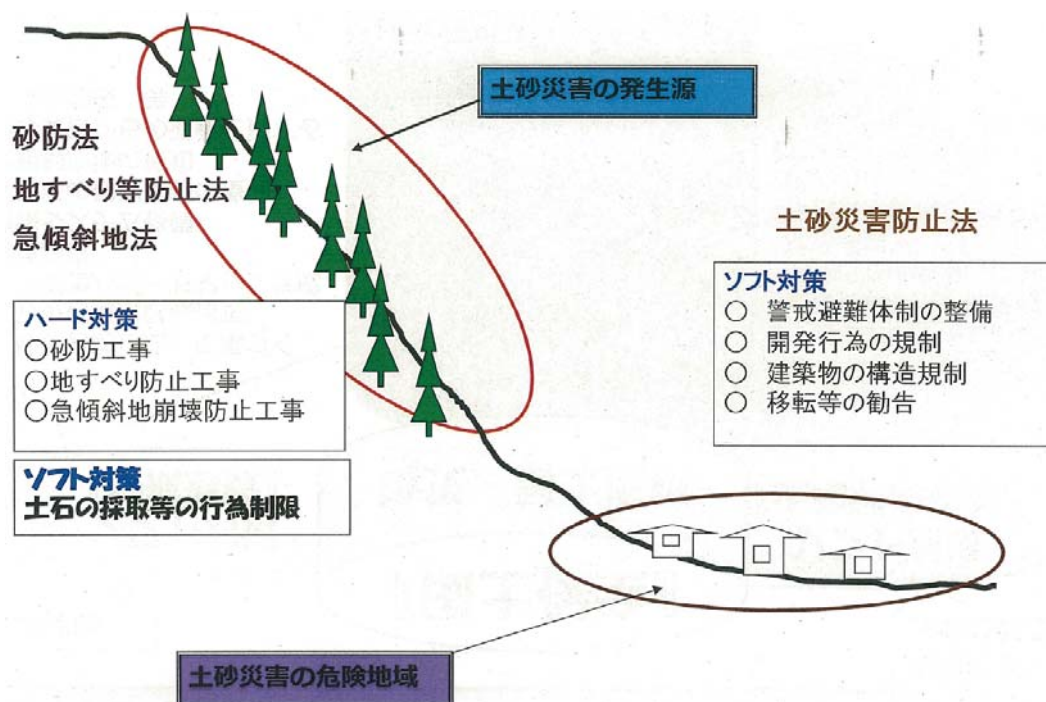


圖 2-17 日本土砂災害防治相關法令適用區域圖

「土砂災害防止法」於平成 13 年（2001 年）施行，其訂定目的係從警戒避難及土地利用規劃的角度切入，對於會再發生土砂災害機率高之區域，建置警戒避難體制及限制開發行為的軟體對策，且由都道府縣對於轄區潛在危險區域之地形、地質及土地利用狀況進行調查，再依據調查結果指定土砂災害警戒區（黃色區域）及土砂災害特別警戒區（紅色區域），並於 2011 年 5 月 1 日修訂，對土砂災害警戒區域做進一步規範，如圖 2-18。

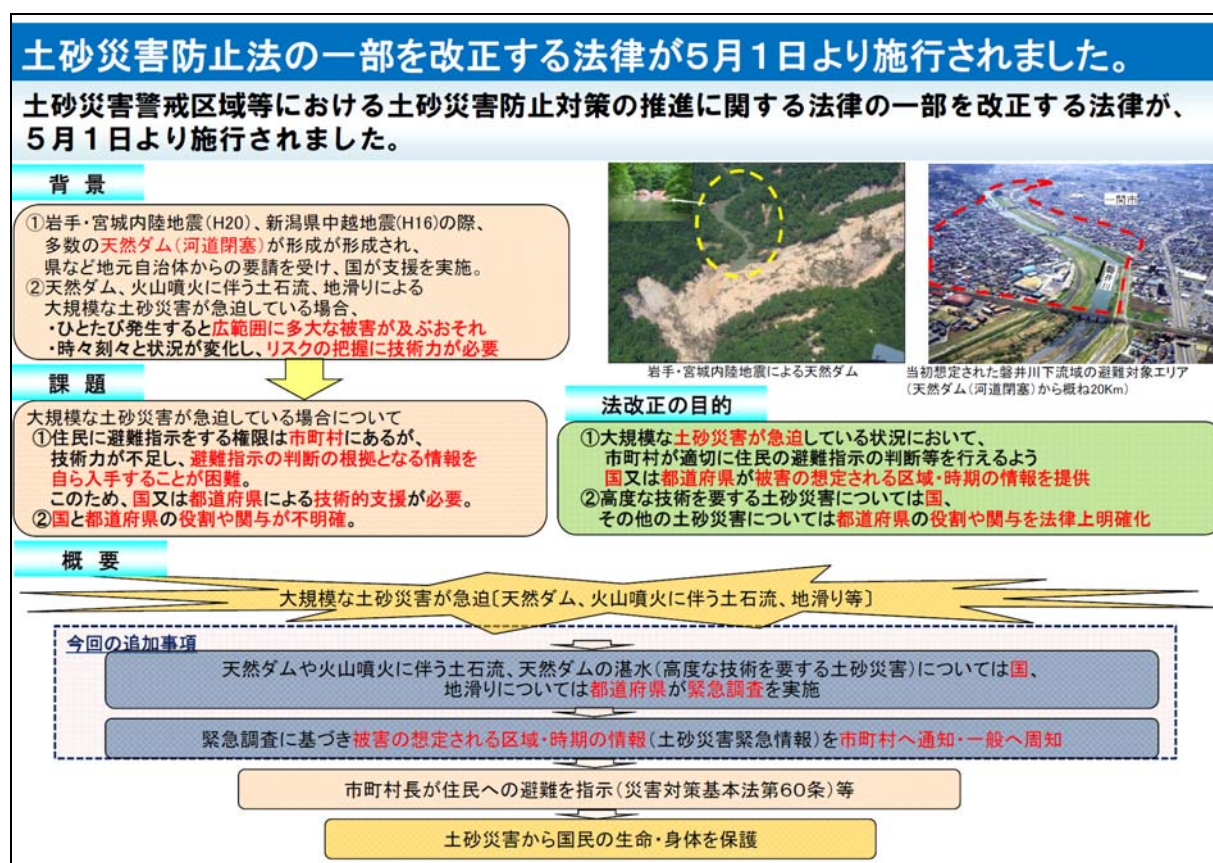


圖 2-19 2011 年修訂土砂災害防止法部分條文之概要圖

土砂災害防止法修訂是基於平成 16 年(2004 年)新潟縣中岳地震及平成 20 年(2008 年)岩手、宮城內陸地震後形成天然壩及堰塞湖之潰決威脅。評估未來氣候變遷、火山和天然壩、崩塌、地滑和泥石流等大規模災害迫在眉睫。因此，中央與地方政府需結合為一個高技術專長的防災預警團隊（TEC-Force）。故修法賦予

地方政府都道府縣分工進行緊急調查(以崩塌及地滑為主)，並通知相關市町村防災警戒訊息、預期損害區域(土砂災害緊急訊息)，市町村長有法定權力決定進行適當的疏散指示的基礎上，使土砂災害防止法災害防治措施是可執行、可即時保護生命，如圖 2-20。這個機制在平成 25 年(2013 年)10 月 16 日第 26 號颱風東京都伊豆半島地區土砂災害發生效用，該地區於颱風期間發生土石流及泥流，防砂設施發生部分效果攔阻土砂，惟漂流木造成災害擴大，在此次災害中 TEC-Force 成立，由地方政府要求中央政府配合災害規模派員支援，並對後續災害監測控制合作處理。

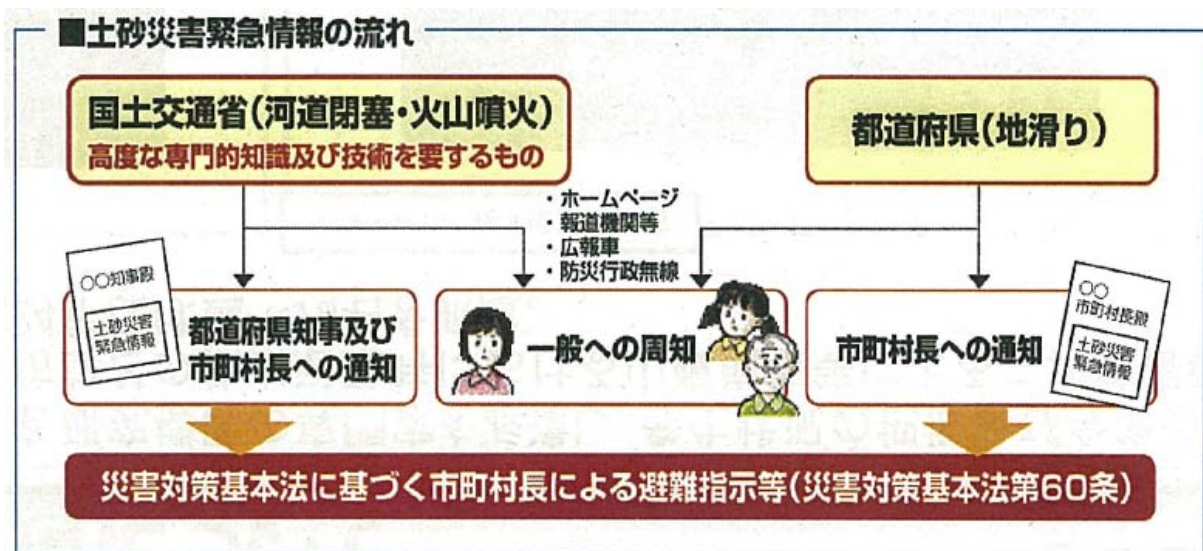


圖 2-20 2011 年修訂土砂災害防止法之中央地方分工概要圖

二、河川流域砂防計畫作成及修正方法

日本早期(明治時代)水系砂防的想法，是爲了「航運」與「物流」的需要，於是將河川治理與砂防工程結合考量。水系砂防與坡面砂防之差異主要爲治理對象不同，前者爲可藉水力輸送進入河川水系，後者爲不易進入河川水系。水系砂防又稱「砂防」(Sabo)。

狹義水系砂防事業之目的，爲針對與水系輸送泥沙有關的土砂生產區域(含山地山腹、溪流(土石流))，實施土砂移動抑制、土砂災害的防止、減輕通過量，以減輕下游河川因土砂堆積而氾濫(洪水溢流或土砂衝擊)，確保治水、利水及環境保育功能，如圖 2-21。

廣義「砂防」(Sabo)的目的，就是要避免或降低人爲因素或自然因素，如地震、火山爆發、颱風豪雨等，所造成的土砂災害，並恢復到安穩的自然狀態。爲了要保育自然景觀、維護集水區下游居家安全、繁榮社會經濟。



圖 2-21 水系砂防治理對象圖

近年來，國土交通省進一步以「國土保全」的概念進行水系砂防，在集水區中上游辦理砂防工作，水系下游堤防與都市將獲得保護。並在「中央構造線（斷層帶）」附近或其他崩塌嚴重的集水區劃設爲中央直轄事業（中央負責治理集水區），在此中央直轄事業區內，同時監測系統與疏散避難，也由中央機關統一辦理砂防計畫，並每 3 年檢討一次：

- 1.保全對象設定：下游河道有房舍、道路等。
- 2.計畫規模設定：一般仍以某個重現期距降雨量爲標準，大致與河川治理標準

相當。

3.計畫基準點設定：計畫基準點為砂防計畫決定計畫土砂量之地點，是水系砂防計畫區域的最下游地點，是砂防計畫與河川治理計畫關連地點。另得設置輔助基準點，如主支流匯流點、土砂移動型態突變點。

4.計畫土砂量設定：

(1)計畫生產土砂量：計畫規模降雨量下在土砂生產區域產生移動的土砂量

(2)計畫流出土砂量：計畫規模降雨量下由土砂生產區域流入水系的土砂量

(3)計畫容許土砂量：計畫規模降雨量下容許流入基準點下游河道之土砂量。

(4)整備對象土砂量(土砂處理計畫土砂量)：(2)-(3)

(5)土砂整備率：砂防設施擬處理土砂量/整備對象土砂量

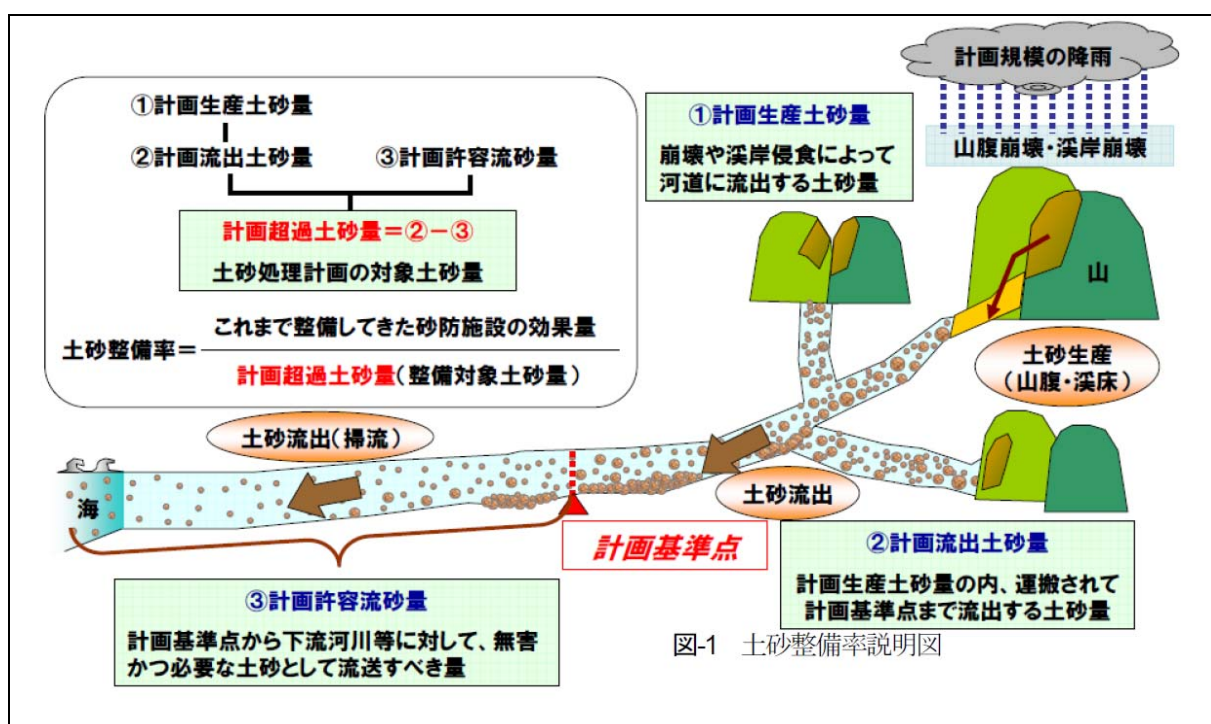


圖 2-22 砂防計畫相關名詞定義圖

其中土砂整備率於日本此等經濟開發國家可以 100%為目標值，但因近來天災頻率增加，難以達到 100%。以富士川為例，配合河川採用 150 年洪水頻率設計，於 1959 年 9 月造成死者 15 人、家屋流出 40 戶、家屋全半毀 3,441 間之重大土石災害，發生迄今約 50 年，其土砂整備率約 30%，未來 30 年擬再增加至 52%。

(參圖)

於 2010 年訂定未來 30 年擬再增加至 52%，處理 1,1804 千方公尺土砂所需成本約 835.6 億日圓(含 50 年維護費用)收益約 938.7 億日圓，益本比為 1.12，參圖 2-23。富士川砂防計畫未來 10 年內會針對土砂生產活躍、土砂生產明顯影響洪水氾濫及土石流影響範圍，辦理優先治理。

富士川流域在 2011 年發生新燃岳火山噴發，河谷內積滿火山灰，故以 20 重現期距降雨量(以宮崎縣內曾引發普遍性土砂災害之 2005 年 9 月 5 日豪雨而定，低於砂防計畫規模)計算可能搬運土砂量。

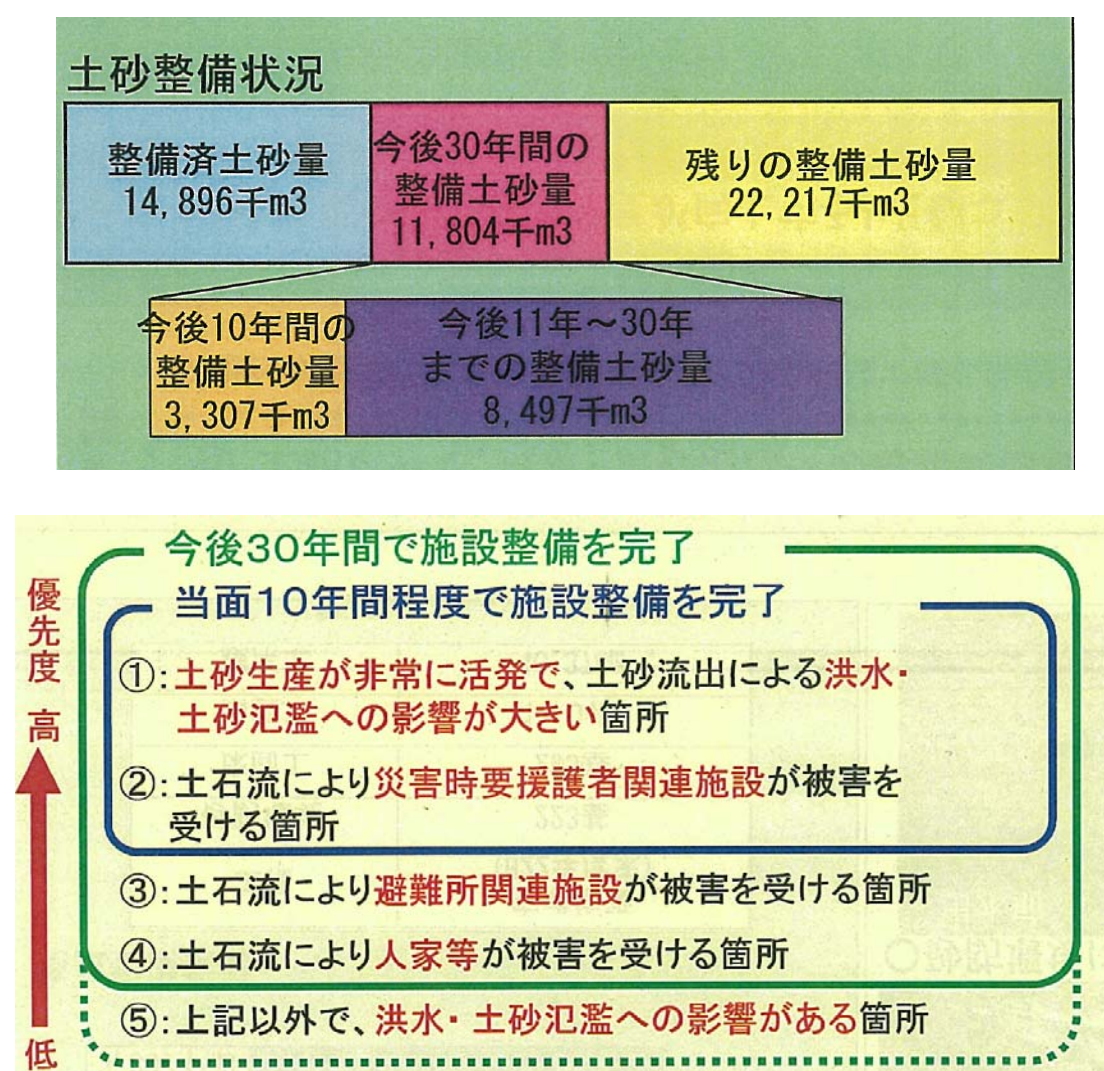
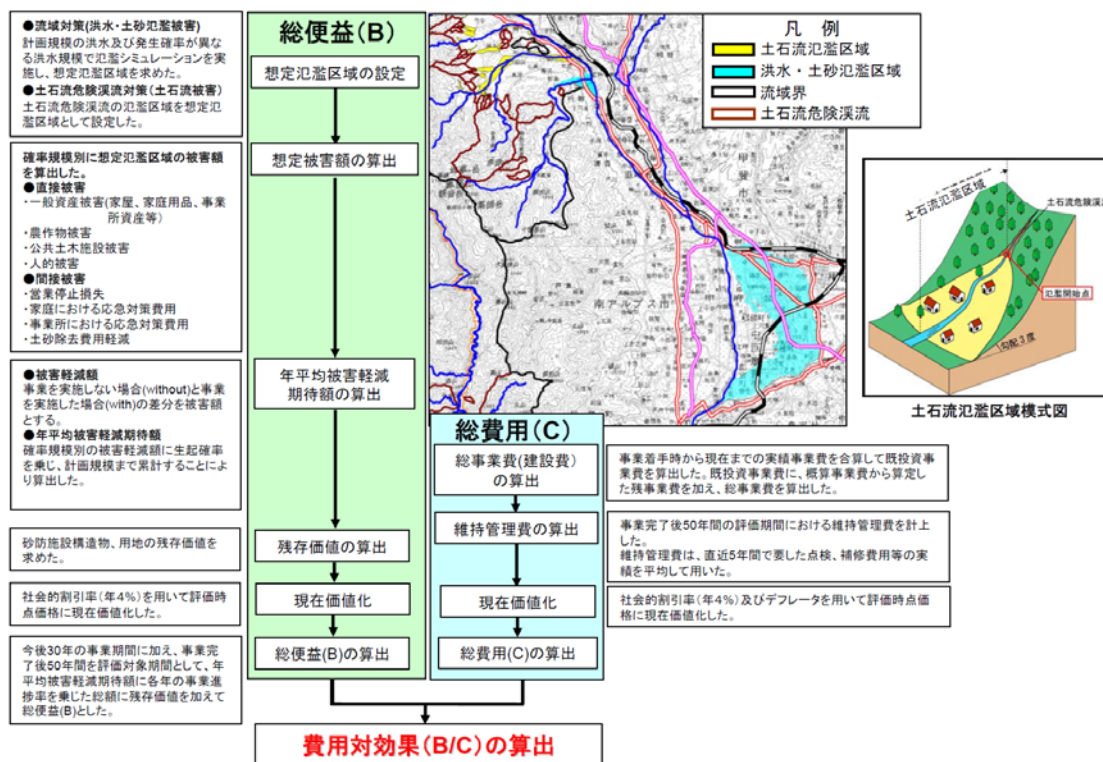


圖 2-23 富士川砂防計畫相關數據圖



●砂防事業に関する総費用(C)

砂防施設の建設費と維持管理費を計上しました。

全体事業に対する総費用(C)

①建設費	6, 160.5億円
②維持管理費	8.1億円
③総費用(①+②)	6, 168.6億円

※ 社会的割引率(年4%)及びデフレータを用いて現在価値化を行い費用を算定

残事業に対する総費用(C)

①建設費	834.5億円
②維持管理費	1.1億円
③総費用(①+②)	835.6億円

●砂防事業に関する総便益(B)

砂防事業に係る便益は、洪水・土砂氾濫及び土石流氾濫区域において想定される被害軽減額と施設や用地の残存価値を計上しました。

全体事業に対する総便益(B)

④被害軽減効果	7, 419.2億円
⑤残存価値	9.5億円
⑥総便益(④+⑤)	7, 428.7億円

残事業に対する総便益(B)

④被害軽減効果	937.3億円
⑤残存価値	1.4億円
⑥総便益(④+⑤)	938.7億円

※ 被害軽減効果は、砂防施設の整備によって防止しうる洪水・土砂氾濫や土石流被害額(一般資産、農作物等)を便益として算定

※ 残存価値は、砂防施設については法定耐用年数による減価償却の考え方をを用いて、また土地については用地費を対象として評価期間終了後の現在価値化を行って算定

図 2-24 富士川砂防計画益本比資料圖



圖 2-25 一行人與林孝標先生等人合照留影

三、砂防施工減碳轉型對策

隨著因應氣候變遷趨勢，減緩碳排為重要工作，砂防事業因應減碳對策也轉型朝減量設計、替代工法及植樹等三方面辦理。日方提出相關成功替代工法案例，包含：

- 1.重力式防砂壩改為透過性鋼格柵防砂壩減碳排放量 30%。

算定例

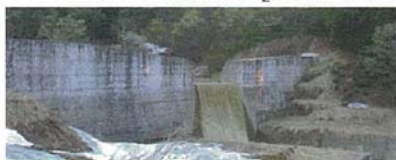
同程度の土砂整備効果を発揮する透過型砂防堰堤と不透過型砂防堰堤の比較

○算定方法

$$\text{CO}_2\text{排出原単位} \times \text{数量} = \text{CO}_2\text{排出量}$$

不透過型砂防堰堤			透過型砂防堰堤（鋼製）		
工程・資材の分類	CO ₂ 排出原単位	数量	工程・資材の分類	CO ₂ 排出原単位	数量
土工事（掘削）	0.006t/m ³	4,500m ³	27 土工事（掘削）	0.006t/m ³	1300m ³
土工事（積み込み）	0.002t/m ³	4,500m ³	9 土工事（積み込み）	0.002t/m ³	1300m ³
コンクリート	0.335t/m ³	11,900m ³	3,987 コンクリート	0.335t/m ³	2770m ³
残存型枠	0.018t/m ³	2,300m ³	41 残存型枠	0.018t/m ³	1100m ³
計			鋼製スリット	2.379t/t	124t
		4,064			1,253

透過型砂防堰堤のCO₂排出量は不透過型砂防堰堤の約3割 30% 8ヶ所視条件而建



不透過型砂防堰堤



透過型砂防堰堤（鋼製）

- 2.重力式防砂壩改為鋼板樁鋪面或水泥板鋪面內埋土壤混凝土(soil cement，砂土料、水泥和水混合後形成的混合物)減碳量 32%~60%。

工事名：広島西部山系宮内2号砂防堰堤工事

概要：（従来）コンクリート砂防堰堤 ⇒ （新）砂防ソイルセメントによる砂防堰堤

効果 ○砂防堰堤本体工に使用するコンクリートをソイルセメントに変更することでコスト削減を図る。

150.2百万円から67.6百万円に削減。（削減額 82.6百万円、削減率 約55.0%）

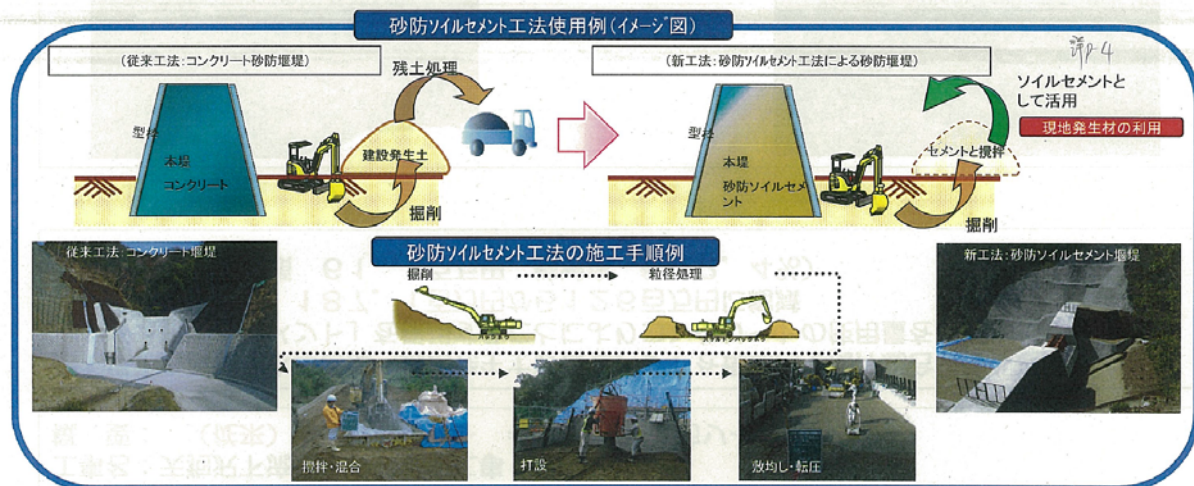


圖 2-26 鋼板鋪面内夾水泥土防砂壩

3.植生回復活動：以增加碳匯方式，達到節能減碳效果，透過民間或企業認養方式進行植生復育工作。

四、河川整備基本方針和河川整備計畫

明治 29 年（1896 年）河川法是以防治水患為主，而昭和 39 年（1964 年）的新河川法開始注意到水資源的分配和運用，到了 1997 年則加入了考量河川環境保育及建立可反映地方意見的審議制度，從此維護河川生態環境及融入民眾參與成為主管機關的法定權責，其河川整備基本方針和河川整備計畫之內容及審議程序，如圖 2-27。

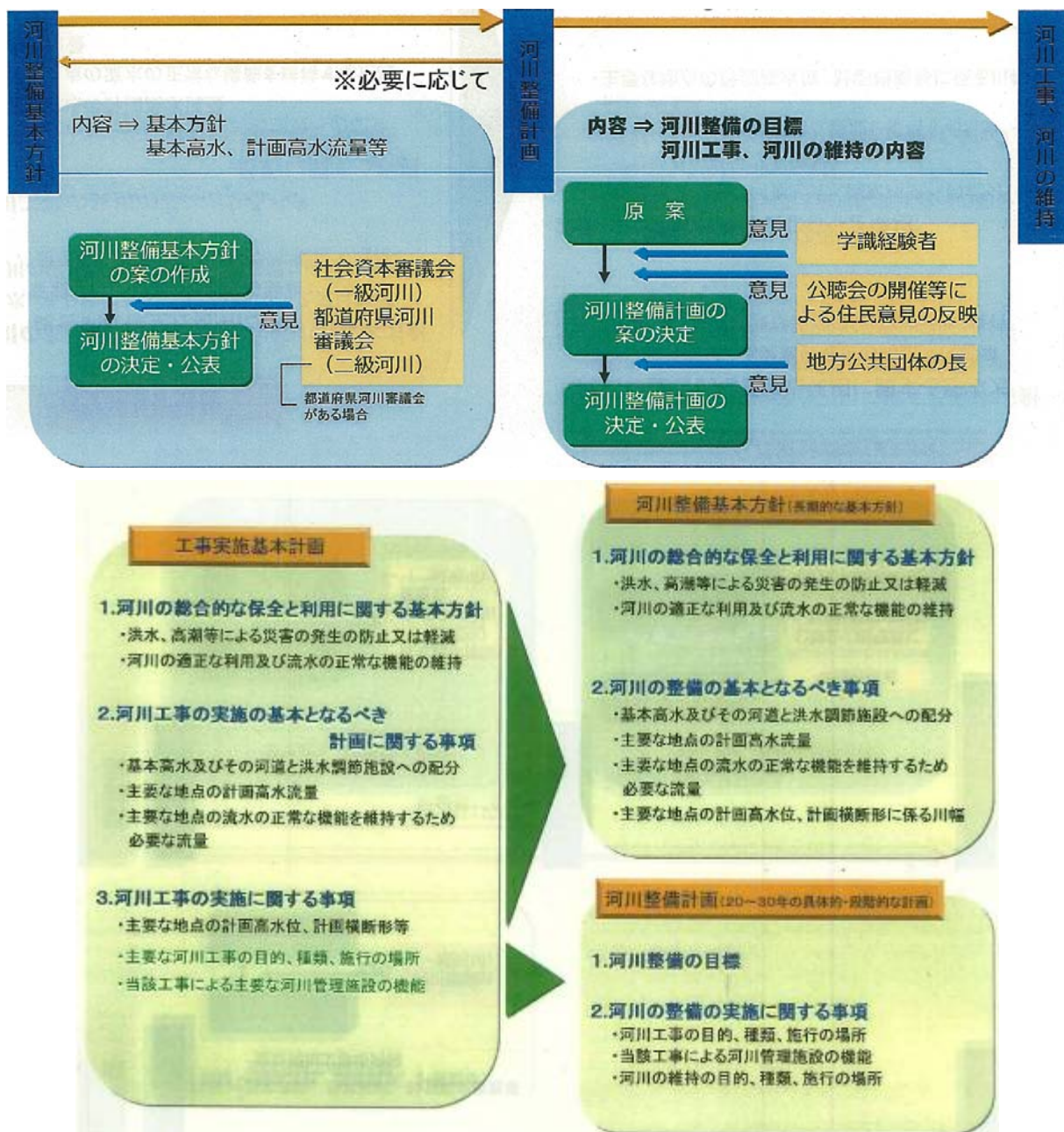


圖 2-27 日本河川主要行政計畫内容及審議程序

其中審議制度為日本特殊民眾參與制度，而民眾參與也是目前各國因應氣候變遷調適策略中重要措施，係透過政府、民眾、專家及學者對於河川整備計畫參與，使得整備計畫更加完善。由中央政府層級的社會資本審議會討論出河川整備基本方針，後續由地方層次的流域委員會審議，將資訊公開且反映地方民眾、學者專家、地方自治團體意見。

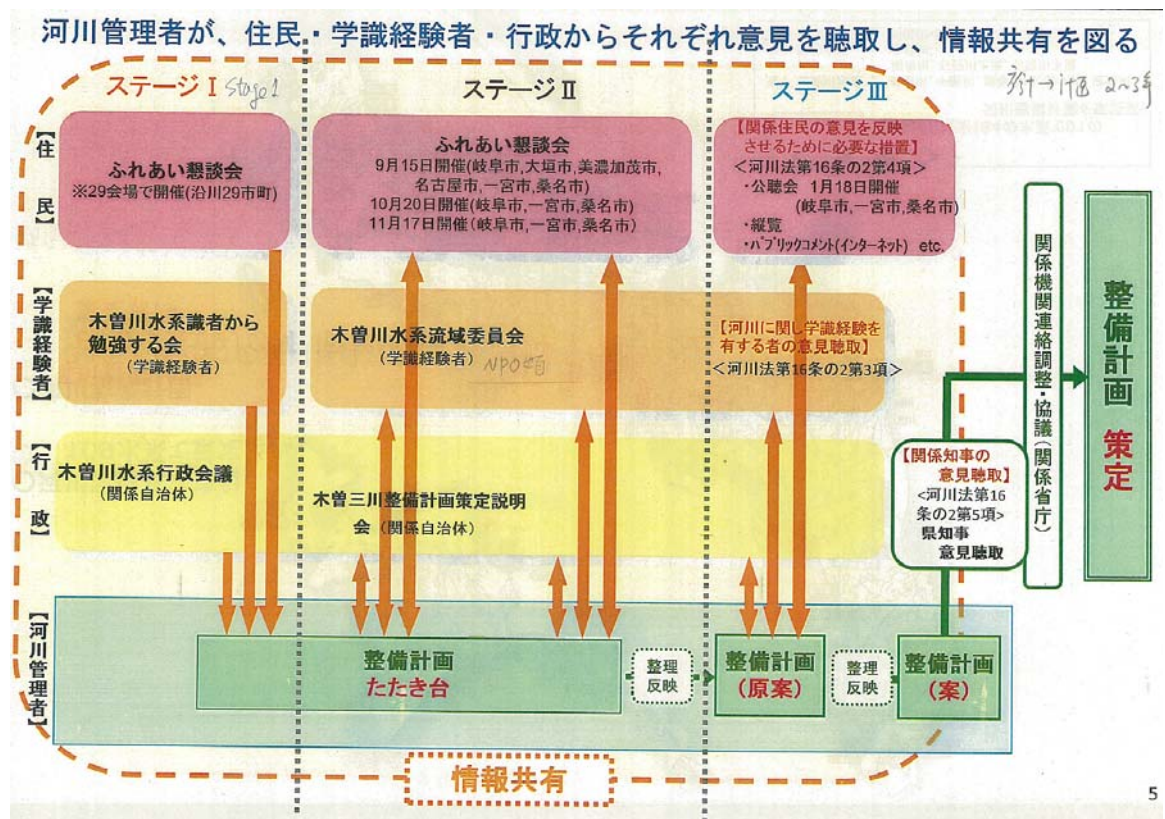


圖 2-28 日本河川整備計畫審議過程資訊公開級審議程序

五、氣候變遷對河川整備計畫之影響及其調適策略

日本氣象廳「氣候變動監視報告 2012」統計日本近百年來之年氣溫變化率為 $1.15^{\circ}\text{C}/\text{年}$ ，高於世界平均變化率 $0.68^{\circ}\text{C}/\text{年}$ 。若以 1981~2010 年之 30 年平均值為準，近年氣溫仍為微幅上揚（如圖 2-29）。日本降雨量變化則為年間日降雨 100mm 以及 200mm 或以上之日數是增加趨勢，而年降雨日數（日降水量 1.0mm 以上）卻為減低，顯示近年不論設計暴雨強度或警戒雨量之觀測次數皆為遞增，故近年局部河川流域調高為每小時降雨量 $80\text{mm}/\text{hr}$ 為設計暴雨，考量日降雨量 $400\text{mm}/\text{d}$ 為極端雨量。

2013 年 10 月 16 日颱風第 26 號在伊豆大島(東京都大島町)造成大規模泥石流及漂流木災害。據大島町和東京都統計，有 35 人遇難，至少有 86 幢住宅被全毀或半毀。無家可歸者估計超過 100 人。而此同時，2013 年在日本一級水系中同時有 18 水系發生乾旱災情（如圖 2-30），故異常天氣交替出現已成為事實。

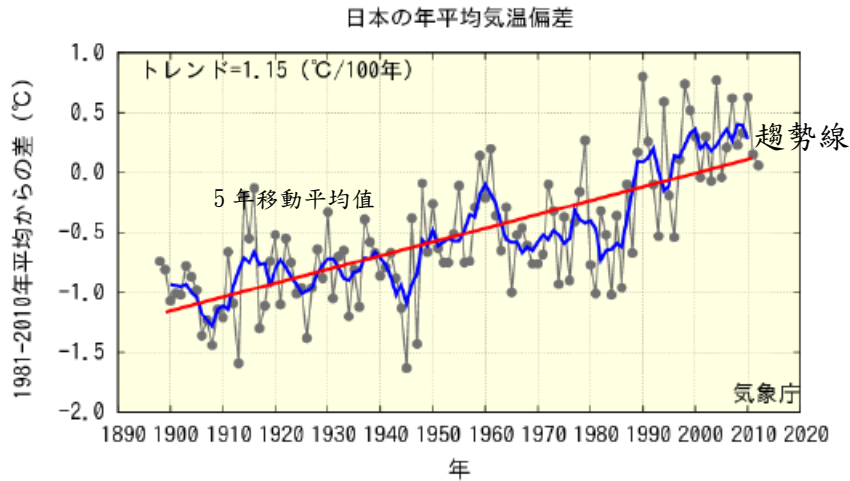


圖 2-29 日本近百年平均氣溫變動趨勢



圖 2-30 2013 年日本一級水系發生乾旱災情位置圖

日本氣象廳依據全球氣候變遷模式（大氣環流模式，General Circulation Model，簡稱 GCM）20 公里網格，降解為符合日本地文水文條件之區域氣候模式 5 公里網格（區域氣候模式，Regional Climate Model，簡稱 RCM）。據以推導出未來（21 世紀末）強降雨之年間發生次數增加值如圖 2-31，200mm/d 以上警戒雨量之現況與未來顯示未來發生次數比現況增加 20%至 30%。



圖 2-31 世紀末強降雨之年間發生次數增加值

國土交通省國土技術總合研究所推論將來（2075~2099）與現在（1979~2003）之降雨量倍數如圖 2-32，參考其中 RCM 資料為 1.00 至 1.30 倍，其對水災害及土砂災害治理風險而言如下：

- 1.河川治理計畫流量發生機率變化倍數可達 5 倍（舉例：原發生機率 1/100 之百年一遇洪水，升高為機率 1/20 之十年一遇洪水），如圖 2-33。
- 2.砂防計畫之治理土砂量，若依據懸浮質約為流量之平方計算之，則懸浮質土砂量可達 1.69 倍（1.30 之平方）。

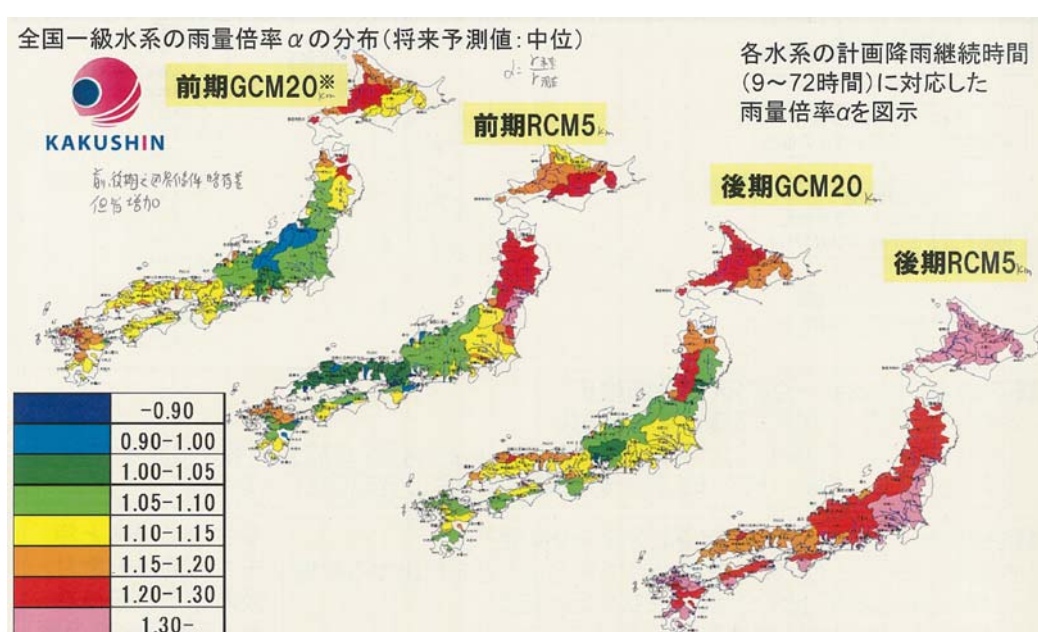


圖 2-32 日本一級水系強降雨量（9~72 小時）變化倍數圖

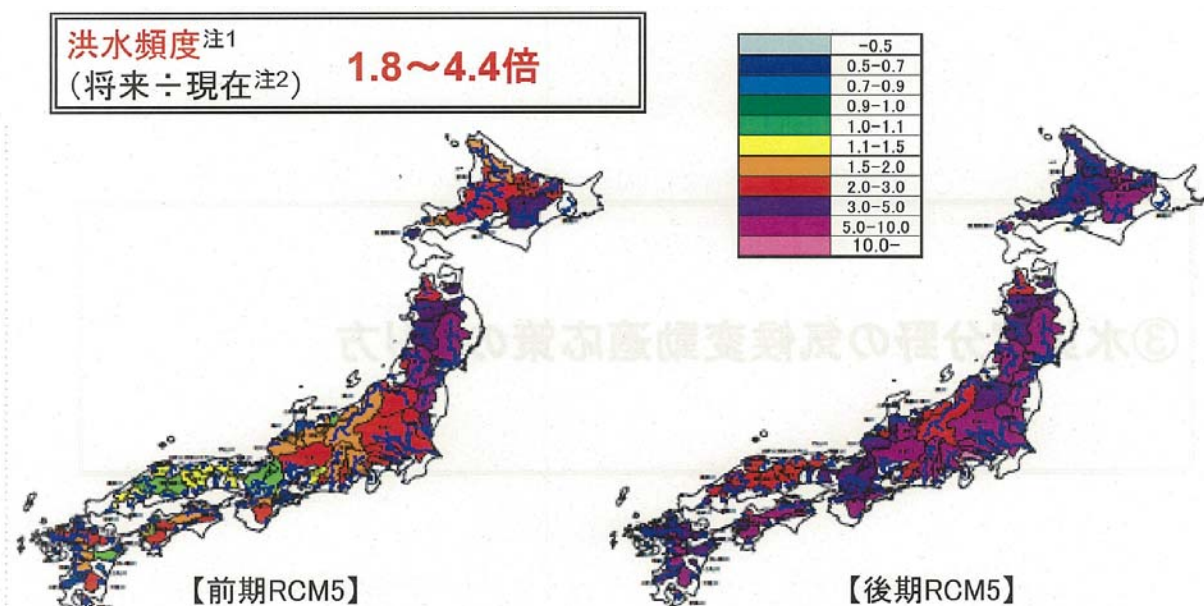


圖 2-33 日本一級水系河川治理計畫流量發生機率變化倍數圖

平成 20 年（2008 年）國土交通省社會資本審議會推動氣候變遷下河川砂防治理事業之調適對策做為後續發展之政策方向，如圖 2-34。



圖 2-34 河川砂防治理事業之調適對策

六、綜合土砂管理的概要

(一) 綜合土砂管理的應用說明

日本政府積極推動流域土砂綜合管理計畫的規劃，以利整體檢討山地至河口的泥沙收支平衡(或輸運系統一貫)。使河川至海岸間土砂資源能正確使用（利用率）以防止造成土砂災害、生態環境及景觀退化等環境問題，如圖 2-35。

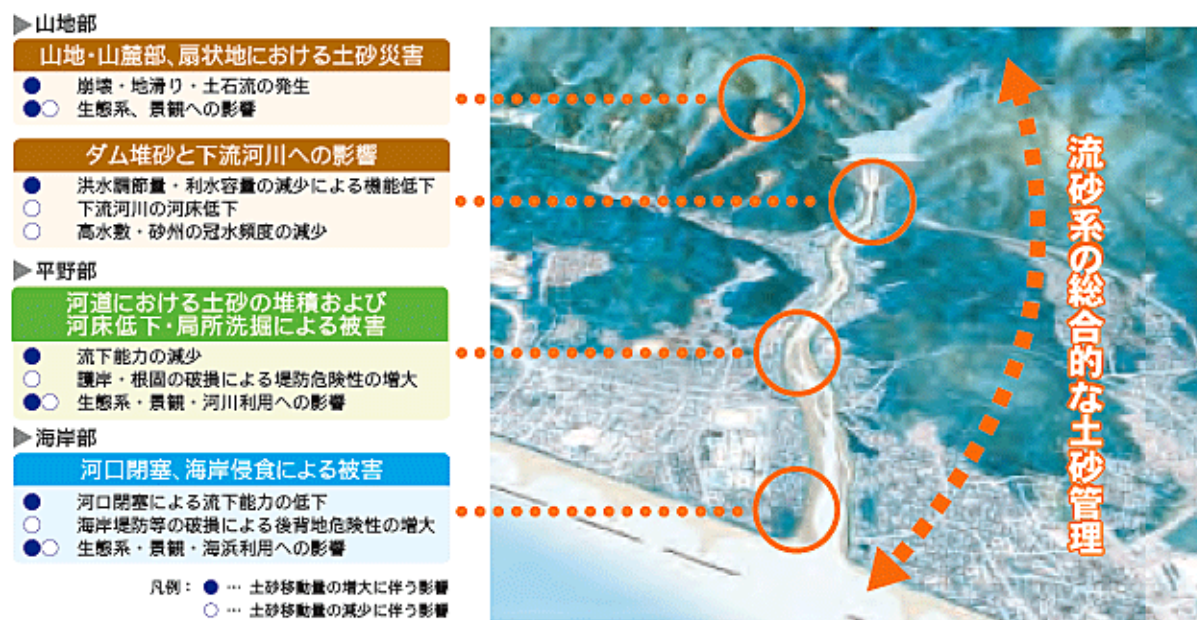


圖 2-35 流域泥沙收支不平衡所造成環境問題分布圖

（二）流域土砂綜合管理

土砂綜合管理即屏除過去治理事業各自爲政情形，由林務砂防事業注重輸砂連續性、河川治理事業管理疏濬量、海岸管理實施養灘、護砂，達成泥沙收支平衡(或輸運系統一貫)，土砂管理、防砂整備及河川整備關係，如圖 2-36 及圖 2-37。

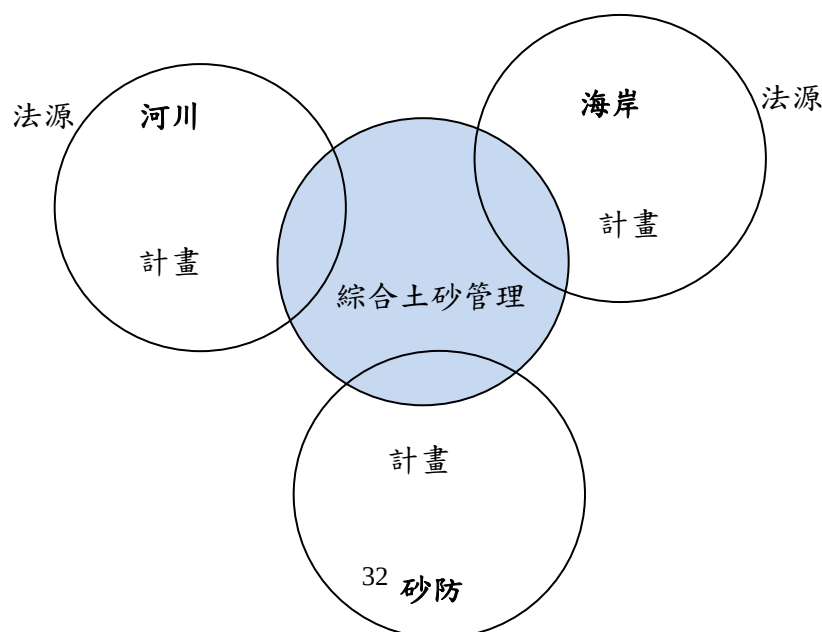


圖 2-36 河川砂防治理事業之調適對策



圖 2-37 流域土砂綜合管理主要策略分布圖

(三) 流域土砂綜合管理階段

1. 規劃階段

由於流域土砂綜合管理涉及森林計畫、砂防計畫、河川整備計畫(法定計畫)分屬不同單位執行，故優先訂定各機關協同方針(日文為「連攜方針」)。主要項目如下：

- (1)流域水系泥沙現況及課題(釐清問題發生場所及原因，說明發展課題所涉各機關及協同處理之必要)
- (2)流域土砂綜合管理基本方向
- (3)各協同機關分擔工作內容

2.計畫階段

擬定流域土砂綜合管理計畫，主要項目如下：

(1)各種流域水系泥沙(沖瀉質(粉土、黏土)、懸移質(砂)、推移質(礫石以上))

之量及土砂收支資料說明

A、輸送量與質(粒徑大小)分布明確化

B、土砂收支與降雨、流量之關係

(2)流域土砂綜合管理目標及指標

(3)各協同機關達到管理目標及指標之具體事業內容

(4)環境監測調查及滾動式管理機制

A、觀測技術、預測技術之開發

B、調查分析技術之建議

3.推動現況

截至 2013 年 11 月止計有 1 條水系訂定流域土砂綜合管理計畫，11 條水系訂定各機關協同方針，詳見圖 2-38。

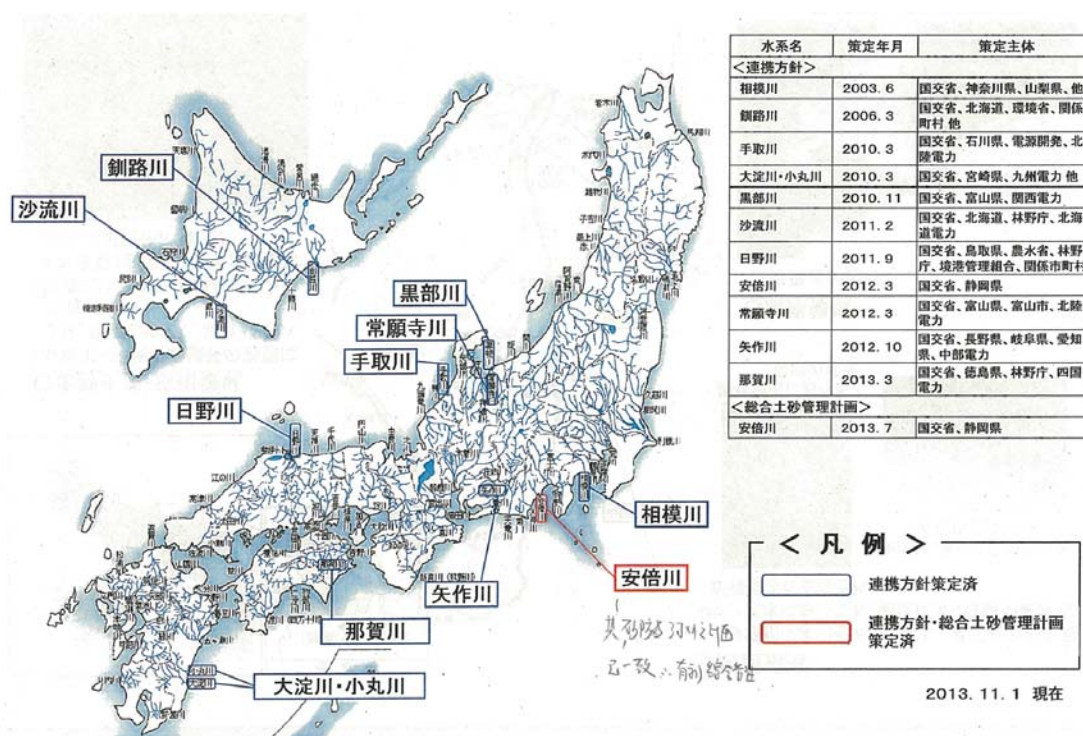


圖 2-38 流域土砂綜合管理工作水系分布圖



圖 2-39 一行人與飯野先生等人合照留影

2.3 獨立行政法人土木研究所及國土交通省國土技術政策總合研究所

獨立行政法人土木研究所及國土交通省國土技術政策總合研究所原同為建設省土木研究所創建於日本大正年間，於平成 13 年 4 月（2001 年）一分為二，獨立行政法人土木研究所設有四大中心，分別為筑波中央研究所、寒地土木研究所、國際水災害與風險管理中心及構造物研究所，負責國土交通省基本技術研究工作。國土交通省國土技術政策總合研究所現為國土交通省下機構，主要研究國土及基礎設施管理、居民和社會成本等問題。並將相關研究提供土地、基礎設施和運輸部行政主管部門參考，2009 年 4 月成立氣候變遷調適本部，負責強化河川、水資源、環境等部分氣候變遷議題進行專題研究。

12 月 4 日前往筑波參訪研習，由獨立行政法人土木研究所森田耕司先生說明氣候變遷的土砂災害對應研究，接著國土交通省國土技術政策總合研究所奧山悠木先生說明砂防基本計畫以及事業評價手法的高度化。

一、氣候變遷的土砂災害對應研究

目前因應氣候變遷的土砂災害有幾個研究方向：

- 1.土砂災害對策計畫：如深層崩塌等異常土砂災害觀測、預測及調查技術。

- 2.危機管理：除中央政府之政策支援外，主要為協助及指導地方政府熟習中央政府指定任務，還有大規模泥沙運動(如深層崩塌)檢測之地體振動感測器、衛星 SAR 影像應用等，以期提早發現。
- 3.警戒避難：如 SNS(Social Network Services，社會性網路服務)幫助人們建立災害預警網路的互聯網應用服務。
- 4.現地技術開發：氣候變遷後在洪水土砂發源地之相關調查技術。
- 5.環境復育：大規模土砂生產後的流域土砂管理。



圖 2-40 日本「砂防研究室」主要研究課題圖



圖 2-41 一行人與研究所等人合照留影

二、氣候變遷的土砂生產量(以堰塞湖為例)

土木研究所之土砂管理研究小組及火山・土石流小組共同簡報堰塞湖發生及潰決之早期發現及警戒避難支援技術。

1. 早期發現技術

應用地震計監測大型土砂移動之跡象，研判有堰塞湖壩體生成後，即應用人工衛星探索判釋，不受夜間或雲遮限制。



圖 2-42 監測研判有堰塞湖壩體生成

研究所亦說明崩塌振動頻率與地震波不同，故可設計儀器分別監測崩塌、深層滑動及地震後之堰塞湖壩體生成時機。如大型滑坡或崩塌的差異可使用不同監測儀器判釋，如圖 2-43。

- 土塊や地盤の変化(傾斜や変位)を監視

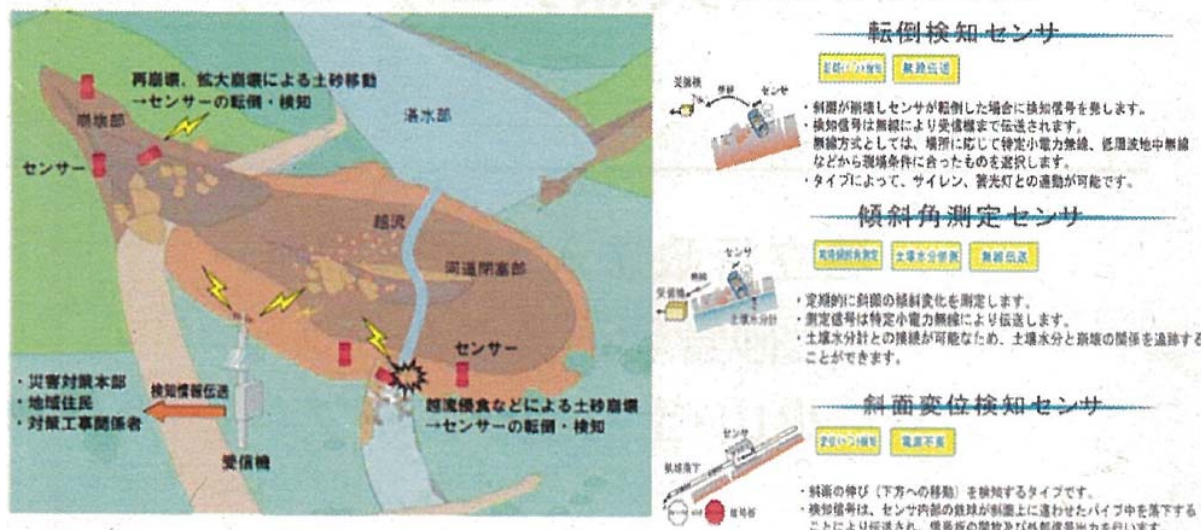


圖 2-43 大型滑坡或崩塌監測

2.警戒避難早期發現技術

堰塞湖潰決之警戒則應用土木研究所自行開發之投下型浮標水位觀測計，監測蓄水位的即時變動，以預測堰塞湖潰決跡象。

該投下型浮標水位觀測計於日本國內及印尼皆有實用案例，其中印尼為海外第一次案例。2012 年 7 月，在印度尼西亞馬魯古省安汶島 Waiera 河發生 170 公尺高、寬 450 公尺、長 900 公尺之大型堰塞湖壩體，蓄水體積約 2000 萬方，威脅下游 5000 位居民安全，通過日本國際協力機構運輸（JICA）及土木研究所協助，建置堰塞湖潰壩預警系統，且順利監測到堰塞湖潰決警訊。

投下型浮標水位觀測計如圖 2-44，可測水位深度達 100 公尺，該投下型浮標水位觀測計於投置後本體下沉，頂部浮標則漂浮至水面，以達通信及吸收太陽光能之目的。

土研式水位観測ブイ(投下型)の概要

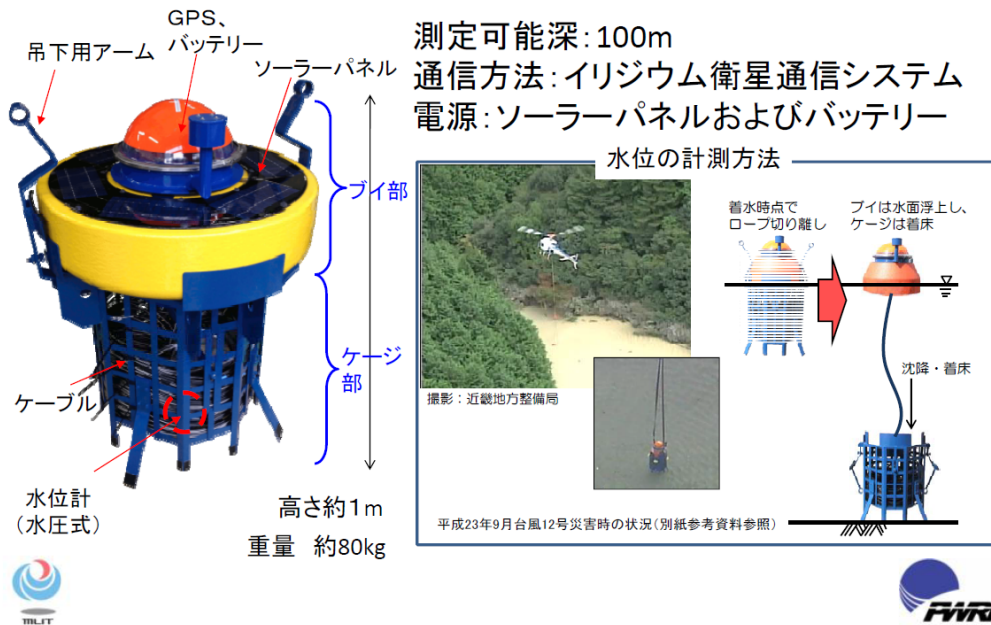
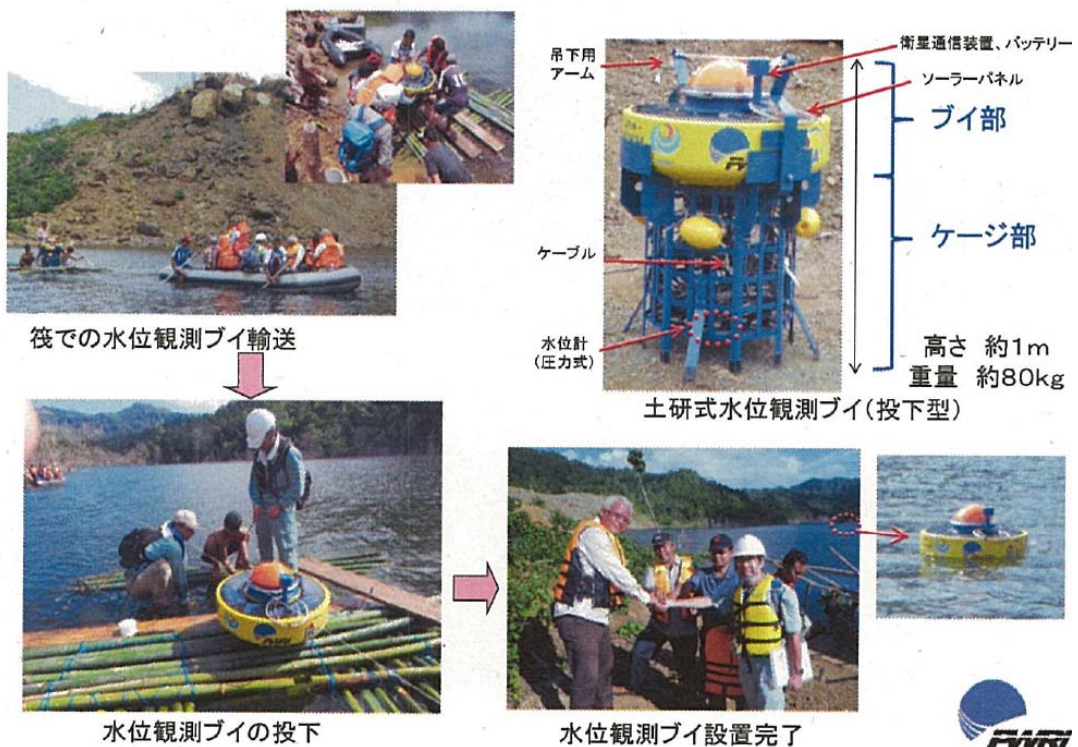


図 2-44 投下型浮標水位観測計圖

アンボン島における土研式水位観測ブイの設置



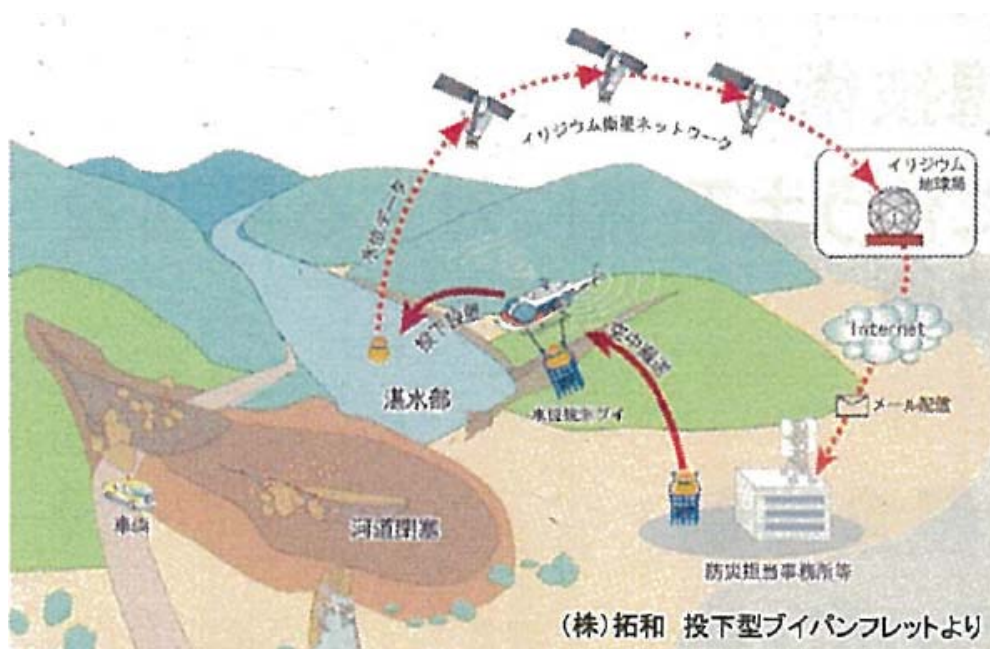


圖 2-45 投下型浮標水位觀測計實體及搬運通信方式圖

三、砂防基本計畫以及事業評價手法的高度化

日本國土交通省自 2011 年至 2013 年，進行「大規模土砂生產後流域土砂管理研究」，該計畫針對遠超過流域治理計畫預計的土砂生產量的境況下，對於生產及流出的土砂如何進行動態的管理與控制方法。以目前大規模土砂生產後的流域土砂管理的掌握技術，還不足以解決(1)大規模土砂生產後中長期流域土砂動態預測技術，(2)治理成效及影響的評估技術兩項問題。

1.大規模土砂生產後中長期流域土砂動態預測技術

河道內土砂的移動模擬、重現及預測的方法，主要在於必須能夠應用在寬廣河道的流況，此外近年用於單一事件或短期流域整體土砂運移、變遷的預測方法，也應予檢討如何能夠用於長期的評估與分析。如果是依現行的做法，要進行數十年以上的分析計算，藉由一般電腦的計算能力，可能需要非常久的時間；此外，由於模式及參數的不確定性，也可能因為反覆的計算而被放大，這些都是未來發展中、長期大規模土砂流出評估模式需要注重的要項。

除此之外，目前進行河床變動計算的模式，都是藉由計算各區段的水理量(水深、水力坡降等)，再據以計算土砂量，這樣的計算都是在基於泥砂處在平衡濃度的狀態。這樣的假設，在上游有大量生產土砂生產的狀態下，是否仍適用，

則有待進一步驗證。因此本研究預定考慮水流輸砂的非平衡性進行計算，除了考慮計算各該區段內的水理量之外，還需要考慮上游河段河道狀況的影響，如何將上游集水區土砂生產對於下游和段土砂流出的影響，也是進行此次研究特別需要著力的地方。

2. 治理成效及影響的評估技術

因應因為廣域的豪雨、颱風及地震等因素所造成的大規模土砂災害，上游大面積崩塌產生的大量土砂，中下游地區也得配合的進行類似土砂的清淤，增加各種土砂控制與調節的各項緊急工程。例如 1995 年的北信越豪雨，流經長野縣及新潟縣的姬川流域產生了總量 1,000 萬立方公尺的土砂量，之後約有六成的土砂從姬川主河道流出，結果造成主河道的河床最大抬升量達 10 公尺，房舍、國道、鐵路等嚴重的損毀。而後續的緊急應變作為，包括於嚴重沖淤的河段，進行緊急的河道清淤(約 60 萬立方公尺)，後續並陸續針對流出的淤積土砂持續疏濬了超過 400 萬立方公尺。此外，在平成 20 年的岩手宮城內陸地震、平成 23 年宮崎縣霧島山的新燃岳火山噴發等，也都有針對既有的防砂堰堤進行清淤土石，增加土砂調節及控制容量的因應作為。

這些緊急的處理工程，以及後續投入的各項治理工程都還需進行檢討，針對大規模土砂生產後土砂動態的實際狀況進行觀測與掌握。由於大規模土砂生產後短期(數日～數月)的土砂移動現象，一直到中長期(數年～數十年)的土砂移動現象，依照時間序列進行觀測與分析，同時也針對實際執行的對策效果及影響進行比對，並據以檢討與調整因應的作為。由以上討論可得知，目前需努力解決與開發的關鍵，是針對大規模土砂生產後數年～數十年期間的土砂動態預測技術，以及兼具效率與效果的土砂管理方式，以作為不同對策與處置方式成效評估方法，目前砂防研究室應用 2004 年新潟縣中越地震及 2008 年岩手、宮城縣內陸地震資料，建立崩場地發生風險 F 與邊坡坡度 $I(^{\circ})$ 、邊坡曲率 C 、最大加速度 $A(\text{cm/s}^2)$ 之回歸關係式， F 值高代表崩場地發生風險高：

$$F=0.075I-8.9C+0.0056A-3.2$$

其後應用至 2011 年東北地震時之岩手、宮城縣，驗證效果顯示可行。如圖

2-46，實際發生地點(圖上黑點)與高風險區(溫暖色位置)一致。

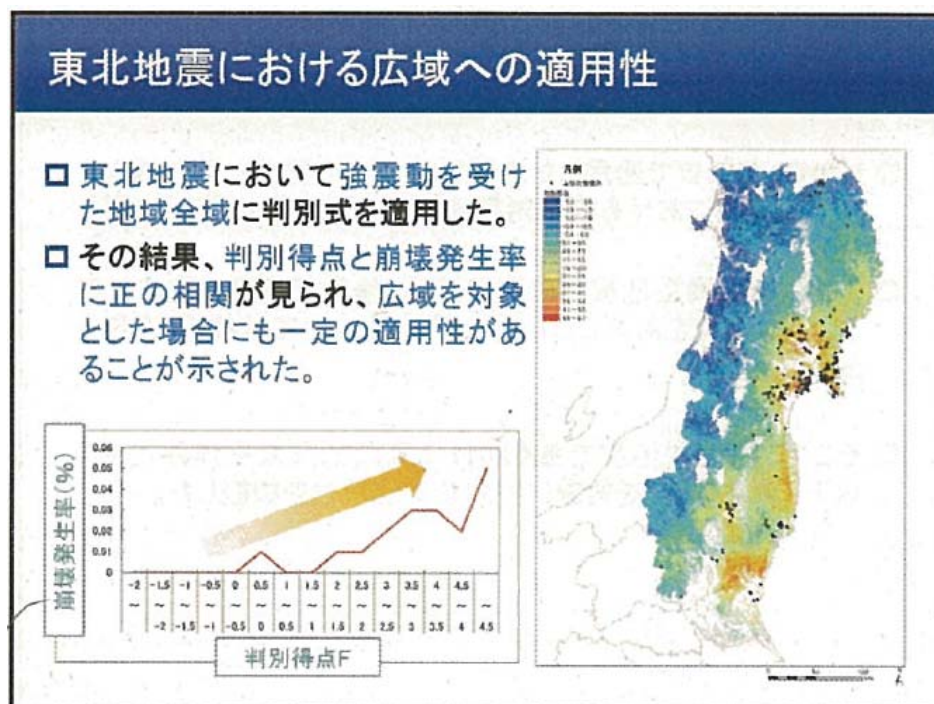


圖 2-46 土研所地震與崩塌地關係式於東北地震驗證圖

2.4 越美山系砂防事務所

越美山系砂防事務所隸屬於國土交通省中部地方整備局，設置於昭和 43 年 (1968 年)2 月設立，主要負責揖斐川、根尾川流域之砂防治理。事務所名字主要係來自於日本古代的令制國名，其中越前國，屬北陸道，又稱越州。越前國的領域大約為現今福井縣的嶺北地方及敦賀市；美濃國，又稱濃州，日本古代的令制國之一，屬東山道，領域約為現今岐阜縣的南部。由於事務所轄管範圍位於福井東部及岐阜縣南部，負責這範圍內的砂防事業，因此事務所名稱定為「越美山系砂防事務所」。事務所的主要基本對策有避免歷史災害重複發生：利用各項抑制及抑止工法，防止歷史災害重複發生；減少土砂下移及淤積：利用各項砂防設施，減少土砂下移及保障下游居民；減少生命財產損失：針對土石流影響範圍，強化各項土石流整備措施，以減少生命財產損失。

5 日上午行程，為前往越美山系參訪鷺巢谷第一砂防堰堤及宇津治谷第一砂防砂堰堤，由越美山系砂防事務所的調查課長野田勳及工務課長柘植 貢等 2 位帶領一行人前往參訪（如圖 2-47）。



圖 2-47 一行人與野田勳及柘植貢課長於本巢市役所根尾分廳舍交流討論

一、鷺巢谷第一砂防堰堤

鷺巢谷第一砂防堰堤位於岐阜縣本巢市，主壩長達 43 公尺，壩高 11 公尺，副座長 35 公尺，高 4 公尺，於平成 6 年(1994 年)開始興建，歷經 4 年於平成 8 年(1996 年)3 月完工，是座兼具防砂及遊憩功能之多功型防砂構造物。



圖 2-48 鷺巢谷第一砂防堰堤

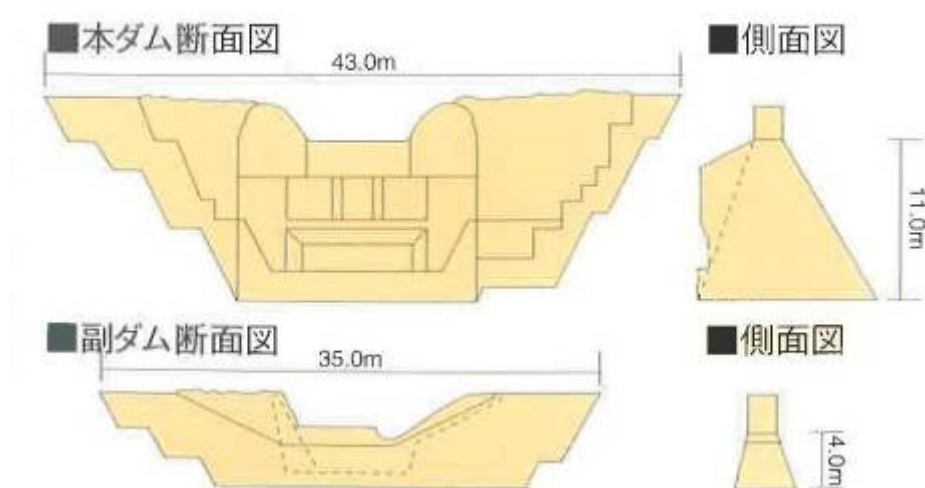


圖 2-49 主壩與副壩設計尺寸

鷺巢谷第一砂防堰堤，最令人印象深刻的是其壩體呈現弧型設計，且外覆御影石(花岡石)，這種設計理念主要是要調和週邊景觀，此外，主壩下方另設有廊道供民眾通行於壩體左右岸，且由於水量豐沛，因此民眾可在廊道內停駐，觀看順著壩體流下的水幕，也是這座砂防堰堤引人注目之處。主壩與副壩間之靜水池除提供消能功能外，更是當地民眾在炎炎夏日的消暑去處。

爲了增加社區居民的參與感，鷺巢谷第一砂防堰堤完工後，邀請岐阜縣知事及當地小學生共同參與完工剪綵(圖 2-50 及 2-51)並於壩址附近設立竣工祝賀石，刻有當時小學生們的賀詞。(圖 2-52)



圖 2-50 1996 年完工剪綵典禮



圖 2-51 1996 年完工剪綵典禮



圖 2-52 當原小學生的祝賀銘石

就工程設計角度而言，這座砂防堰堤的特別之處在於其主壩之圓弧設計較為罕見，此外表面的御影石並非構造物主體完工後才加工貼覆，而是以御影石為外模板直接澆注混凝土而成，因此表面之御影石是整個嵌入混凝土構造物中，因

此施工過程中之品質管制需要特別注意。透過近距離觀察，發現石材間縫隙間之少有混凝土流出的情形，反而經長期演變已成為植物生長的環境。



圖 2-53 御影石間縫隙

經過十餘年的時間考驗，鷺巢谷第一砂防堰堤依然稱職地扮演其防止土砂下移的重要角色，少了剛落成時的嶄新樣貌，卻也經由時光的遞移，融入且調和了當地的景觀。



圖 2-54 一行人與野田及柘植課長留影



圖 2-55 主壩廊道望向下游面

二、宇津治谷第一砂防堰堤

宇津治谷第一砂防堰堤也是位於岐阜縣本巢市，壩長 54.5 公尺，壩高 13 公尺，屬於透過性防砂構造物(鋼製 T 型)，可蓄積 3.3 萬立方公尺之土砂，另可攔阻 430 立方公尺之漂流木，興建於平成 22 年 10 月(2010)，甫於平成 25 年 7 月(2012.7)完工。是座兼具防砂與攔阻漂流木之防砂構造物。



圖 2-56 宇津治谷集水區範圍圖



圖 2-57 宇津治谷第一砂防堰堤

本座防砂設施的特色在於其表面採用預鑄混凝土模板，具有美觀及施工迅速之特性，雖然其建置成本較一般木質模板高，但由於日本人力成本較高，因此整體工程施作經費仍較傳統工法來的便宜，另外工期亦縮短 10%-30%。預鑄混凝土模板之長為 60 公分、寬為 120 公分，在施工時以鐵條或鋼筋固定於壩體內，再分層澆注混凝土(每層 75 公分)，另為避免層與層間之施工縫接合不良，在澆注前須以高壓水注沖洗混凝土，在混凝土形成粗糙面以利後續混凝土之結合。



圖 2-58 預鑄混凝土模板近視圖



圖 2-59 柘植課長繪製說明施工方法

宇津治谷第一砂防堰堤完工後，由於其防砂量體已能完全容納宇津治谷 150 年頻率的土砂量，因此宇津治谷的防砂整備率將達到 100%。同時在主壩旁邊亦設土方清運便道，可於土砂淤滿時進行清運工作，保持防砂壩空庫狀態。此外由於採用透過性設計，因此橫向防砂設施最易讓環保人士憂心的生態阻隔問題問題也迎刃而解。



圖 2-60 透過性設計可保持生態廊道通暢

在台灣，常見的工程竣工銘牌多是說明工程名稱，興建單位、日期等制式內容，而本座防砂壩嵌在壩體下游面右側的銘牌是以手印方式呈現，格外引人注

意。柘植課長特別強調工程在興建前，即花費了相當長時間與當地民眾進行多次溝通，包含環境影響、生態維持及各項工程構造物設計理念等，因此在與當地居民充分溝通取得共識下，施工期間糾紛及爭執即減少，並於完工後特別邀請當地民眾在完工銘牌上壓下手印，以作為完工之紀念。



圖 2-61 完工銘牌

2.5 多治見砂防國道事務所

多治見砂防國道事務所隸屬於國土交通省中部地方整備局，位於岐阜縣多治見市小田町。主要負責木曾川水系及庄內川水系之砂防事業，另外也負責國道 19 號、國道 21 號及東海環狀自動車道之道路興辦及養護事業。

庄內川流域為日本主要的陶土產地，在江戶時代，由於山區林木即遭大量砍伐，除供生活燃料外，大量供作燒製陶器之所需燃料，因此山林呈現大量裸露，造成大量土砂流出而致災。因此早在明治 12 年(1879 年)即由內務省提出「庄內川山丘土砂流送の件」，直至昭和 12 年(1937 年)開始推動直轄砂防事業，主要進行在崩塌裸露地之土砂生產抑制、強化位於觀光區及具保全對象之土石流潛勢溪流整備提昇、砂防設施親水空間與環境之營造、強化都市山麓之抗災能力並推動鄰近郊山之防砂整備等砂防工作。

5 日下午前往多治見市參訪市之倉川おりべ砂防堰堤及市之倉川第 4 砂防堰堤。由多治見國道砂防事務所砂防調查課長有澤俊治及妻木出張所長小幡豐柘等 2 位帶領一行人前往參訪施設現場。

一、市之倉おりべ砂防堰堤

市之倉おりべ砂防堰堤位於多治見市，施設於庄内川水系市之倉川，興建於平成 12 年(2000)，壩長 69 公尺，壩高 13.5 公尺，溢洪口採圓弧型設計，防砂量達 3.8 萬立方公尺，完工後市之倉川防砂整備率即達 100%。由於所在地區生態豐富，因此壩體設施時即考量減少生態衝擊，避免因壩體興建而導致生物廊道遭阻隔，因此在壩體中央下方位置設置出流口，維持基本生態流量，以維持當地生態。此外也採用木質排水溝，作為鄰近區域排水之用，儘量與週遭景觀融合。

由於多治見市是日本的陶都，也是美濃燒的產地，因此在壩體在設計時更融入當地特色，讓當地民眾參與討論，因此特別於壩體嵌上「陶之里」、「夢」等陶製銘牌，且位於壩體下游面的陶器展示空間，更是定期更換展出藝品，成為一座極具特色的防砂設施，此外市之倉おりべ砂防堰堤施設位置，更規劃為公園供鄰近居民休憩之用。更在當地立上國寶級工藝大師所燒製之陶藝作品。



圖 2-62 市之倉おりべ砂防堰堤



圖 2-63 公園內木質排水溝



圖 2-64 壩體下游面設有陶器展示空間



圖 2-65 國寶級工藝師燒製之紀念地標

二、市之倉第 4 砂防堰堤

市之倉第 4 砂防堰堤也是位於多治見市，壩長 33 公尺，壩高 9 公尺，屬於透過性防砂構造物(鋼製 H 型)，可蓄積 3.3 萬立方公尺之土砂，興建於平成 20 年(2008 年)，平成 21 年完工，是座兼具防砂與攔阻漂流木之防砂構造物。

這座防砂設施也是採用預鑄混凝土模版方式施作，所使用的混凝土模版分兩類型，尺寸均為 60 公分 x120 公分，施作於壩體背面的模版，每片約 4000 日元，施作於壩體表面的模板，每片約 8000 日元，同樣採內支撐方式施工，具有省工、施工迅速之優點。另外在防砂設施外施設土石清運道路，以便在土砂淤滿時，能迅速將土砂外運，以保持防砂設施之空庫狀態。



圖 2-66 市之倉第 4 砂防堰堤



圖 2-67 一行人於市之倉第 4 砂防堰堤合影

2.6 木曾川下流河川事務所

木曾川下流河川事務所早在明治 10 年(1877)即已成立，時為內務省土木局木曾川出張所，直至昭和 23 年(1948)改隸建設省中部地方建設局木曾川下流工事事務所，而於平成 15 年 4 月 1 日更名為國土交通省中部地方整備局木曾川下流河川事務所。主要負責揖斐川、長良川及木曾川等三條河川下游的河川經理事務，包含木曾川水系的河川整備、河川管理及防災等事務，進行減災洪水、暴潮等災害的發生及減輕致災規模、河川正常機能的維持及適切的水資源利用及營造

多樣的河川環境等工作。

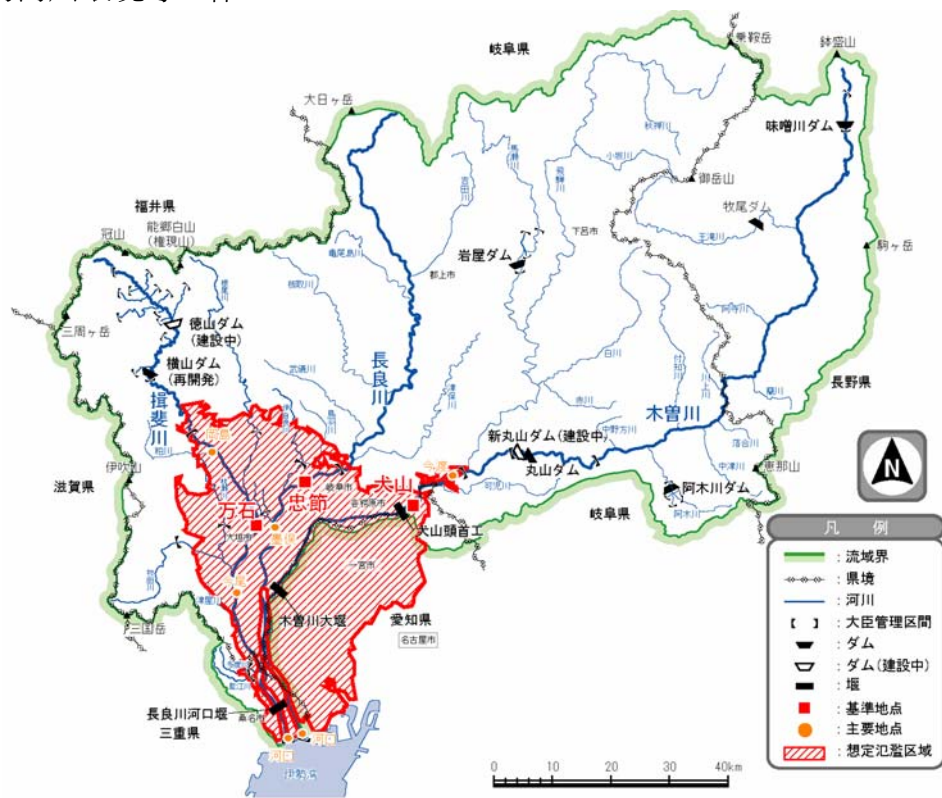


圖 2-68 木曾三川流域可能氾濫區域圖

6 日前往國營木曾三川公園進行參訪。由由木曾川下流河川事務所副所長三浦彰夫及調查課長小林賢也等 2 位領著一行人前往木曾三川公園內之水與綠瞭望塔，說明木曾三川之治理歷史與瞭望四周河川概況。



圖 2-69 副所長三浦彰夫於木曾三川公園瞭望台解說

一、輪中

由於木曾三川地形較為低窪，因此早在江戶時期，當地居民即發展出輪中這種特殊地貌。所謂輪中，即是利用天然形成的淤積沙丘，在其外圍築堤以防止洪水入侵保護耕地，幾經演變而漸次成輪中的結構，並整合鄰近小型輪中結構而形成今天所見的大型輪中。

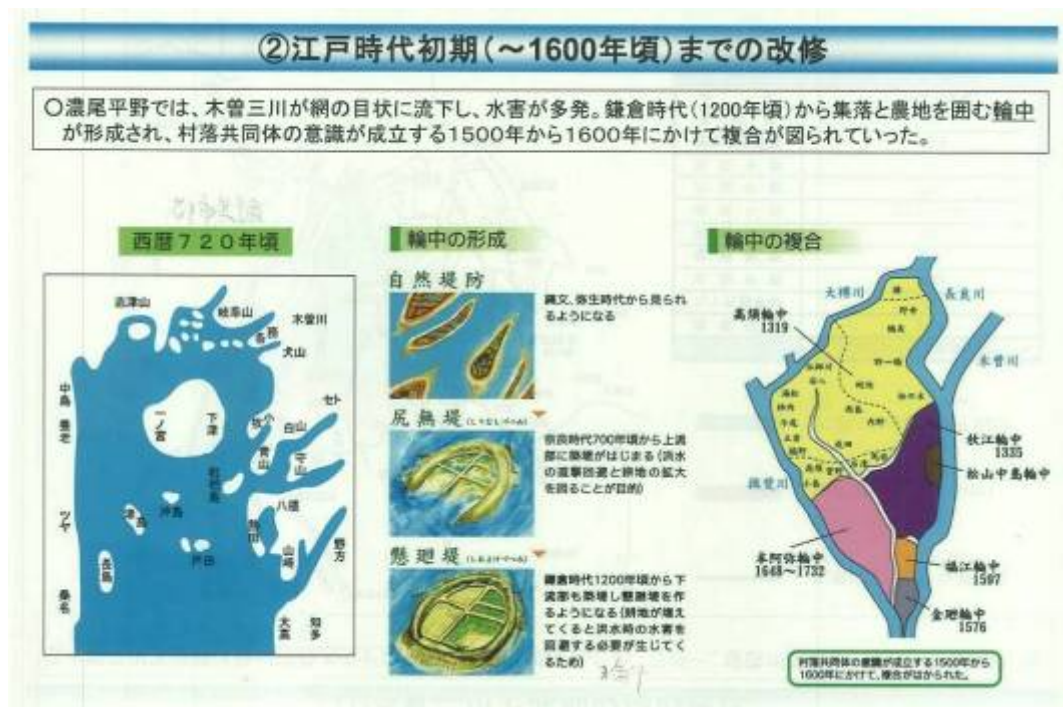


圖 2-70 輪中之形成過程



圖 2-71 現存大型輪中



圖 2-72 現存輪中堤

由於此地區為三川匯流之地，因此水流狀況較為複雜，加上地勢低窪，過去經常發生洪水災害。因此在寶曆 4 年(1754 年)即開始此區域之治水工作。為了整治此區域的河川，便在長良川與揖斐川間築堤，以減少洪患。由於當時築堤時，在堤上遍植松樹，現今已成綿延樹海，稱為「千本松原」。



圖 2-73 長良川(左)與揖斐川(右)間之堤防(油島締切堤)

二、高須輪中排水機場

高須輪中在岐阜縣羽島市及海津市之間，該地區 60%土地位於海平面下，該排水機場目的是保護周圍的洪水幹流的流域人民的生活和生計為主要功能，利用排水泵站，以橫跨堤防或河岸排、泵水道等在堤防或河岸附近設置設施（放水槽，排水溝與之配套的設施等等），調節大江川及揖斐川水量，減小洪水氾濫發生機率。



圖 2-74 高須輪中排水機場

該排水機場屬於立軸二床式排水機場，依據「河川管理施設等構造令」、「揚排水ポンプ設備技術基準(案)同解説」、「揚排水ポンプ設備設計指針(案)同解説」による。また、小規模ポンプ、救急排水ポンプ機場については、それぞれ「揚排水ポンプ設備技術基準(案)同解説」、「揚排水ポンプ設備設計指針(案)同解説」、「救急排水ポンプ設備設計指針」等作為設計準則。其特色在於其抽水位置位於抽水站下方（如圖 2-75），大江川水流經過除塵器後流入直徑 2.3m（可讓七位小朋友伸開手合抱）大小抽水管以每秒鐘 60m³ 速率將水由大江川排入揖斐川。



圖 2-75 高須輪中排水機場功能示意圖



圖 2-76 一行人於長良川流域堤防合影

第三章 心得與建議

此次參訪主要瞭解日本體系相關氣候變遷治山防災研發成果，瞭解在因應全球氣候變遷衝擊下治山防災技術提升與調適作為，以及實際體系之運作方式，並提出以下幾點心得與建議：

3.1 治山防災因應氣候變遷調適策略

- 1.日本水土災害防治與警戒避難機制持續隨歷年發生重大災害而調整，具備彈性；治理計畫由單一治理事業工程措施邁向多機關協同處理，由具備專業能力各機關通力合作，但彼此間協調良好，並不影響其行政效率。
- 2.氣候變遷影響之預測及潛在重大災害之預警，皆由研究機關（公法人）辦理先期研究並落實為技術或規劃方針，使治理事業質與量獲得確保，足供我國政府組織再造參考。
- 3.即使數值模擬工具已定論未來降雨規模增加率，但水土災害治理規劃上不執著於該估算，仍針對「歷史最大災害」研擬長期治理方針（如砂防計畫持續百年）使現況治理與未來災害情境不致差異過大。
- 4.流域土砂綜合管理計畫雖然非法定計畫，但日本三單位（水管理及國土保全局、砂防部、林野廳）持續協同辦理，基本資料調查徹底，分析工具簡易（土砂收支平衡）而具體可行，研究單位協助建立有相關技術基準，由少數水系優先嘗試辦理之經驗回饋至其他水系，以及法定上級審議機關（社會資本審議會）協調公部門與專家、民間單位。凡此，皆值得國內參考。
- 5.除氣候變遷外，持續研究崩場地與降雨、地震之關連性，確保全盤掌握土砂災害各種誘發因子。故可設計出對應極端事件的風險管理情境，作為風險管理的依據。雖然日本以高精度資料對未來變化進行預測，但不代表評估未來的變化也會是以高精度方式呈現，故「設計事件」本身不具有高精度，因此日本強調非工程措施（如 SMS、潛勢地圖資訊）朝向耐災型社會，是現階段經濟、合理的對策。
- 6.全球氣候變遷下，發生重大災害之頻度與規模將加劇，嚴重影響人民生命財產安全，建議雙方可針對重大災害發生之救災指揮過程經驗進行案例分享。

3.2 工程現勘心得

- 1.目前國內在興建防砂壩時，爲了減少對生物衝擊，因此構造物在設計時偏向低矮化設計；又爲考量防砂效益，因此往往以連續設置多座防砂設施，反而造成擾動範圍增加。本次在日本所見幾座大型防砂壩，多屬壩長數十米，壩高多爲十米以上，往往施設一座防砂壩，即可將野溪之防砂整備率提高至 100%，不僅工程施設效益較高，且擾動範圍較少。
- 2.防砂壩之壩體多採透過式設計，無論是採鋼構或是採大型排水口設計，均能提供溪谷生物無礙的通行空間，可減少生物廊道的阻隔。
- 3.日本使用預鑄混凝土模版已有一段時日，雖然預鑄混凝土模版單價較一般木質模版高，但無須拆模的特性，使構造物外觀較爲美觀，且施工期也能縮短，因此這次參訪的防砂設施全數採用此工法，未來若有國外技術導入或國內廠商自行開發，或可優先採用此工法，以提高工程品質。