

日本靜岡縣熱海市土石流災害事件紀錄

林聖琪¹、何瑞益¹、李宗融²、廖楷民³、張志新¹

¹ 國家災害防救科技中心 坡地與洪旱組

² 國家災害防救科技中心 氣象組

³ 國家災害防救科技中心 體系與社經組

摘要

2021年7月3日上午約10時35分於日本靜岡縣熱海市伊豆山地區發生土石流事件，源頭發生於海拔高約390m，順著逢初川（あいぞめがわ）流下來，影響至1公里外，涵蓋寬度約120m。根據靜岡縣災害對策本部9月3日針對熱海伊豆山土石流事件第50次報告顯示，此次事件總計26人死亡，1人失蹤，輕重傷共計3人，受損建築數量共128棟，合計135戶，觀光經濟損失推估約損失15.4億日圓[1]。

一、天氣系統概述

2021年進入6月底時，隨著太平洋高壓勢力的逐漸增強與西伸，東亞地區的梅雨鋒面也逐漸由南往北移動，從臺灣朝長江流域、日本方向移動。根據6月29號日本氣象廳天氣圖，一道梅雨鋒面呈現東西走向，由琉球群島延伸至長江流域。隨後，此道梅雨鋒面逐漸向北

移動，在 7 月 1 日至 3 日移動到日本本州，並由東日本向西日本呈現滯留的狀態（圖 1(a)~(c)）。由於暖濕空氣不斷透過西南風往鋒面輸送，大氣條件相當不穩定，也使得梅雨鋒面上的劇烈對流系統不斷的發展。根據日本氣象廳的雨量分析[2]，梅雨鋒面上的線狀對流系統，於 7 月 1 日通過本州外海的伊豆諸島時，就降下 3 小時超過 150 毫米以上之強降雨。

由於梅雨鋒面滯留所造成之持續降雨，使得東日本南部臨近太平洋之縣市出現了超越歷史觀測紀錄的降雨量，也導致靜岡縣熱海市發生土石流、河水氾濫及淹水等災情。7 月 4 日，梅雨鋒面開始往北移動（圖 1(d)），主要降雨區轉移到鄰近日本海側之縣市，災區的降雨才逐漸趨緩。

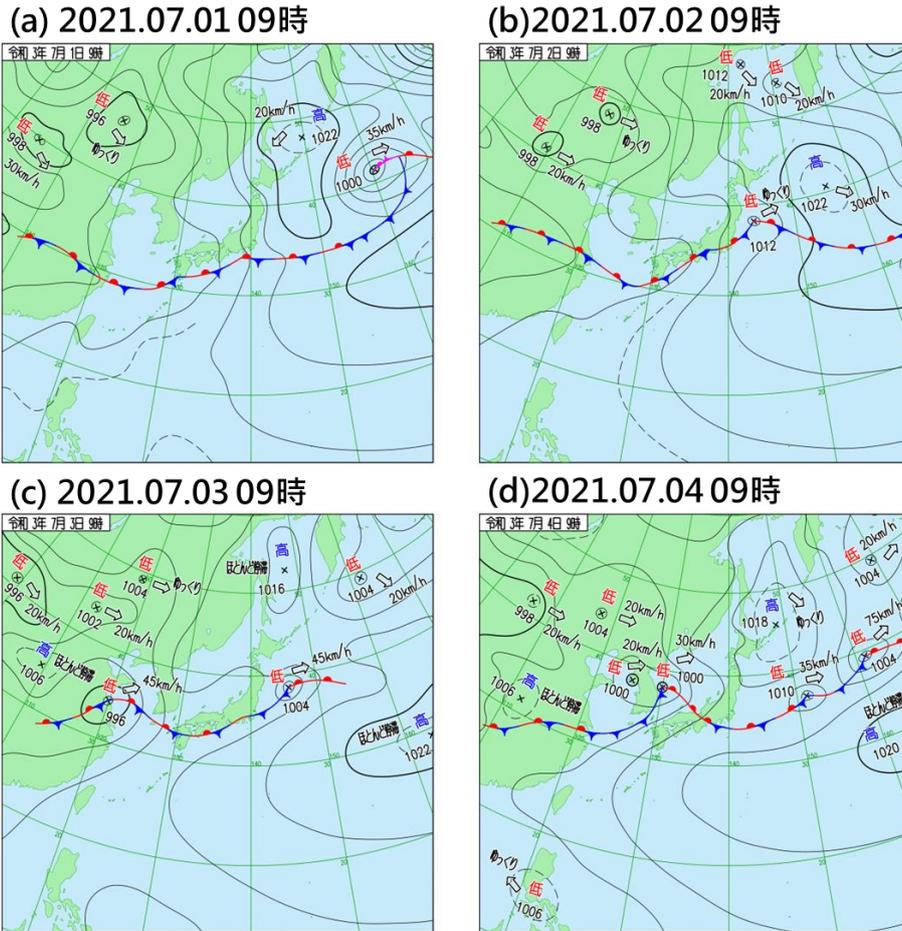


圖 1、2021 年 7 月 1 至 4 日天氣圖 (圖片來源：日本氣象廳[2])

二、降雨分析

根據日本氣象廳雨量資料 (圖 2)，6 月 30 日 0 時~7 月 3 日 24 時的降雨主要集中在東日本南部鄰近太平洋之縣市。最大累積雨量為神奈川縣根測站的 830.5 毫米，第 2~5 名則都在靜岡縣境，分別為伊豆市天城山站的 570 毫米、御殿場市御殿場站 566.5 毫米、周智郡森町三倉站 535 毫米及靜岡市葵區有東木站 529 毫米，而鄰近發生土石流災害為熱海市網代站，其累積雨量則是 432.5 毫米。根據上述測站之降雨歷線分析，清楚顯示降雨主要發生在 7 月 1 日至 7 月 3 日這

72 小時內。進一步分析 72 小時最大累積雨量，有許多測站刷新了歷史上 7 月的極值，甚至創下了該站觀測史上的新紀錄(圖 3 與圖 4)。

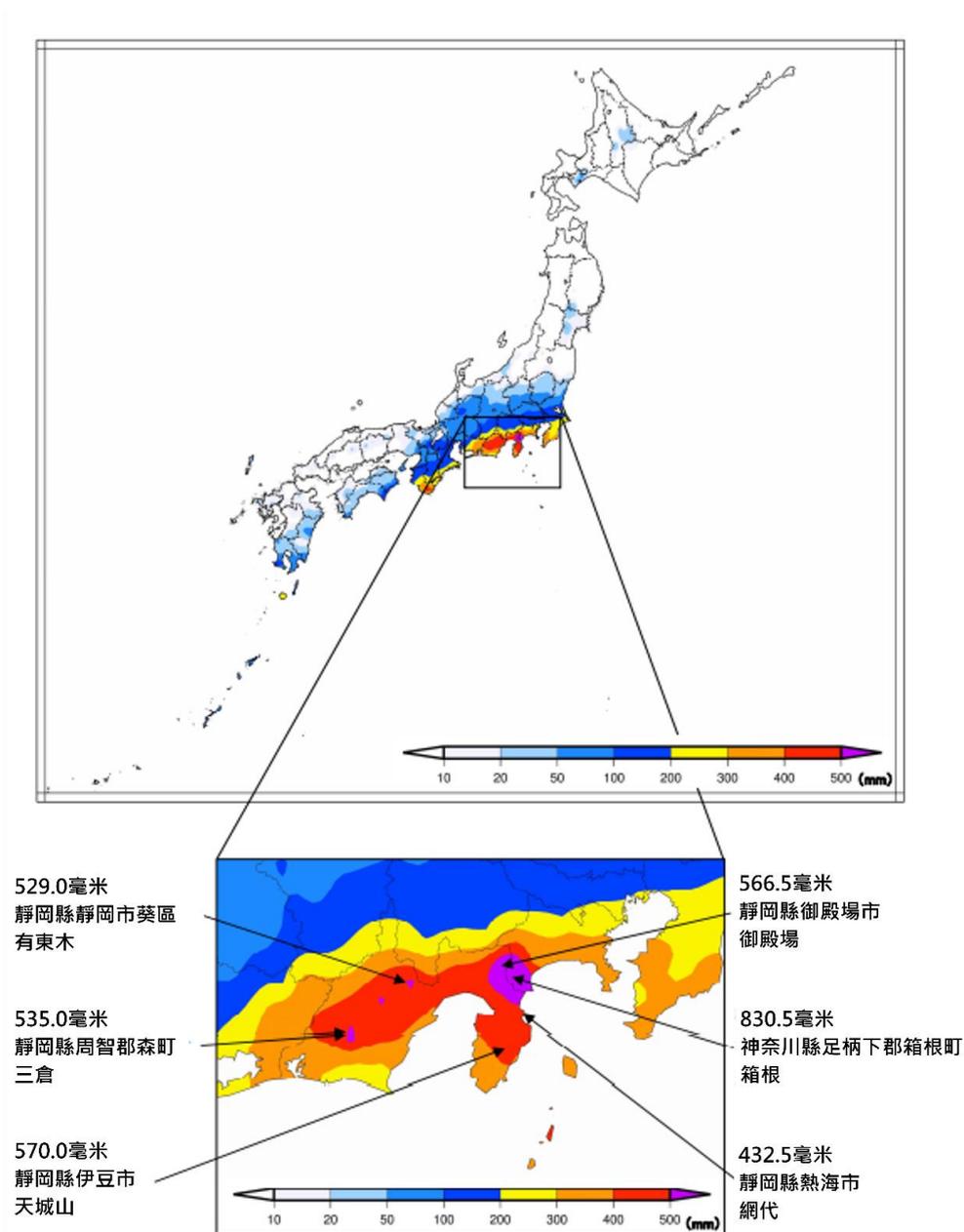


圖 2、6 月 30 日 0 時至 7 月 3 日 24 時之累積雨量分布圖及累積雨量前五名與靜岡縣熱海市網代站之累積雨量值 (圖片來源：日本氣象廳[3]，編修：國家災害防救科技中心)

分析本次梅雨鋒面降雨特性，從 72 小時累積雨量與過去歷史極

值之比值空間分布圖（圖 3）可以發現，靜岡縣與神奈川縣有許多區域的 72 小時累積雨量除創下歷史新高外，部分地區的降雨量甚至達到歷史極值的 1.5~3 倍（150%~300%）。進一步聚焦到發生土石流的靜岡縣熱海市，從不同延時最大雨量與歷史極值之比對分析結果（圖 4）顯示，3、6、12 及 24 小時之最大降雨量，分別約為歷史值的 67%~80% 不等。但 48 小時及 72 小時的累積雨量則是都刷新了歷史值，分別達到歷史值的 113% 及 133%，說明了本次鋒面降雨屬於長延時強降雨事件，進而導致土石流之發生。

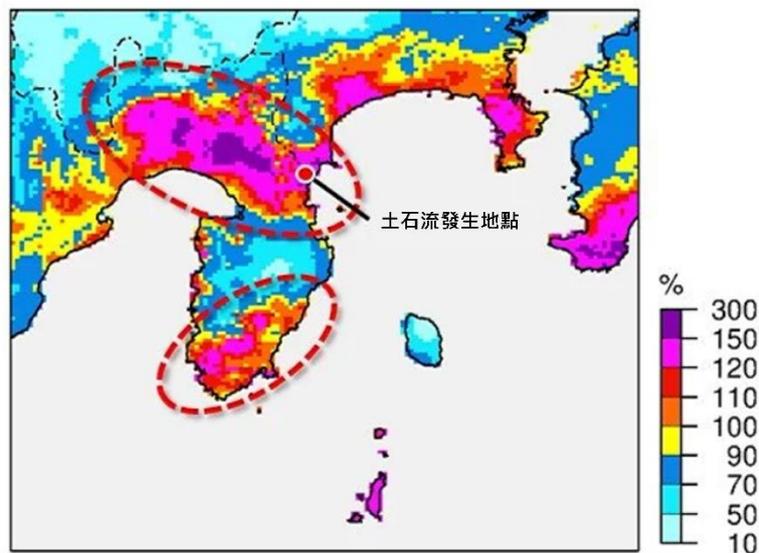


圖 3、最大 72 小時累積雨量（分析時段為 2021 年 6 月 30 日 0 時至 7 月 4 日 0 時）與歷史最大雨量值（統計時段為 2006 年 5 月至 2020 年 12 月）之比值空間分布圖。本分析使用之雨量資料為國土交通省之網格雨量，水平解析度 1 公里（圖片來源：日本氣象協會[4]，編修：國家災害防救科技中心）



圖 4、熱海市各延時延最大累積雨量（分析時段為 2021 年 6 月 30 日 0 時至 7 月 4 日 0 時）與歷史最大值（統計時段為 2006 年 5 月至 2020 年 12 月）之分析。圖上百分比數字為本次事件觀測值與歷史極值之比值。本分析使用之雨量資料為國土交通省之網格雨量，水平解析度 1 公里（圖片來源：日本氣象協會[4]，編修：國家災害防救科技中心）

三、 災害紀實

1. 災害歷程

根據媒體報導指出[5]，7 月 3 日 6 時已經有小規模的土砂崩落，日本警消與自衛隊已展開管制行動；8 時 28 分左右已有民眾拍攝到逢初川已有高濃度含砂水流，並於 10 時 35 分記錄到土石流發生[6]，造成下游共計 128 棟建築物損毀，26 人死亡以及 1 人失蹤[7]。土石流發生區高程約 390m 之人為山谷填方區[8][9]，土石流流路長達約 1.9km，一路流入伊豆山港之相模灣。國道 135 號、新幹線與東海道線因土石流發生暫時停駛，土石流發生位置如圖 5 所示。圖 6 是彙整國土地理院之航空影像與地形圖疊合圖，配合中日新聞空拍影像截

圖，以及靜岡大學防災中心北村晃壽教授現地調查照片，土石流下游堆積區狀況予以比對[10]，堆積土石材料均質且含水量高，使土石流動距離較遠至相模灣，同時受到地形與建築物束制影響，土石流堆積發展之扇形較不明顯。

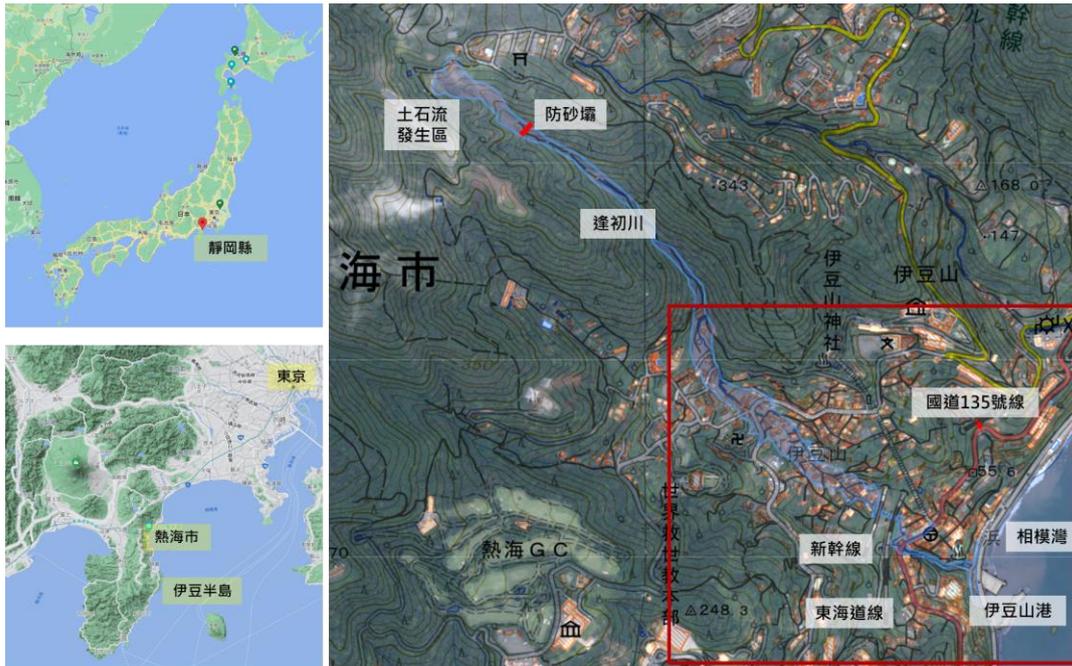


圖 5、日本靜岡縣熱海市土石流發生位置，紅框為圖 6 災害影像與位置對照圖範圍（資料來源：Google 與日本國土地理院）



圖 6、土石流下游災害影像與位置對照 (資料彙整：國土地理院影像與地形疊合圖、中日新聞[11]與北村晃壽[10])

2. 應變歷程

此次豪雨事件第一次使用「防災警戒等級之避難指示」新調整之規定[12][13][14]，熱海市政府發布的警戒資訊時序與降雨資訊，如圖 7 所示，7 月 2 日早上 10 時發布第 3 級警戒，老年人等需疏散避難等訊息。由於 2 日下午降雨趨緩，熱海市政府維持第 3 級警戒，但於 3 日凌晨開始新的一波持續性降雨，10 時之時雨量為新一波降雨之最大時雨量，且大於 2 日降雨，35 分後發生土石流災害。土石流發生後，日本氣象廳針對靜岡縣熱海市發布第 4 級避難警戒 (如圖 8)，熱海市政府認為轄內都很可能再發生土石流災情，於 7 月 3 日 14 時

23 分針對熱海市全市 20,957 戶與 35602 人，發布最高等級的 5 級的「緊急安全措施」，當地警消及自衛隊立即進行搜救[13]。

由於 2019 年哈吉貝颱風造成東日本巨大的傷亡，共有 86 人死亡，將近七萬棟房屋損壞。因此，日本內閣府於中央防災會議重新檢討避難資訊，防災部門和消防廳修正防災警戒級別與相對應知避難指示訊息，並於 2021 年 5 月 20 日起正式實施（如圖 9），以第 4 級警戒的「避難指示（緊急）與避難勸告」統整成「避難指示」，不再有避難勸告訊息，並強調第 4 級發佈時，民眾需立即避難，以藉此避免過去日本民眾對於「政府命令居民立即避難」與「政府勸告居民避難」之混淆[13]。

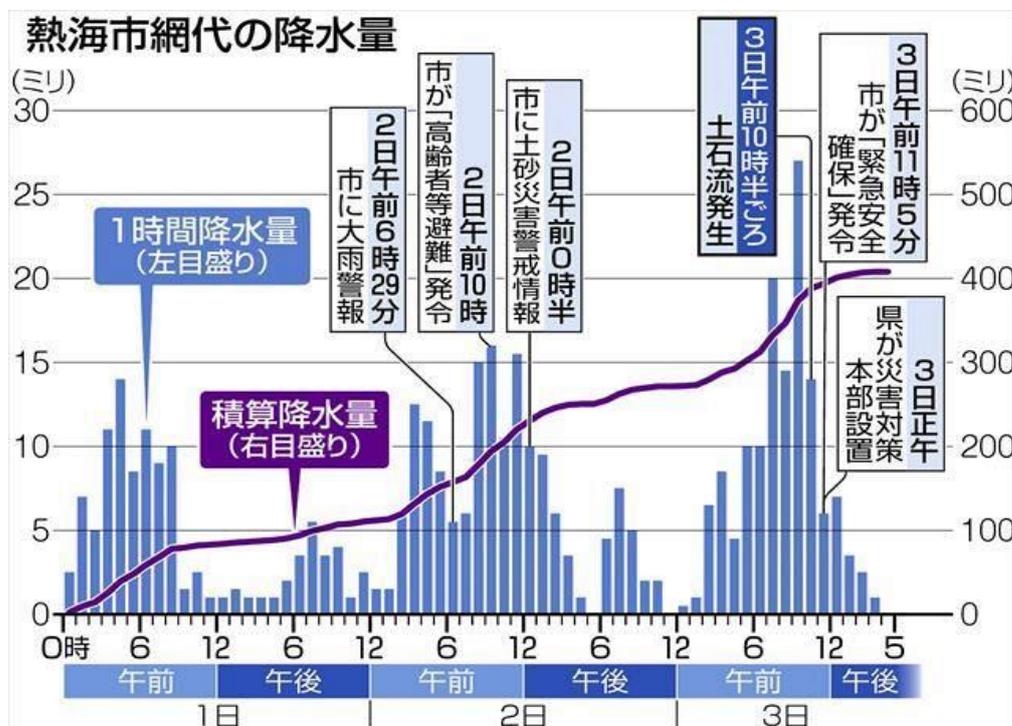


圖 7、熱海市網代降雨量與避難警戒訊息發布狀況圖（資料來源：東京新聞[14]）

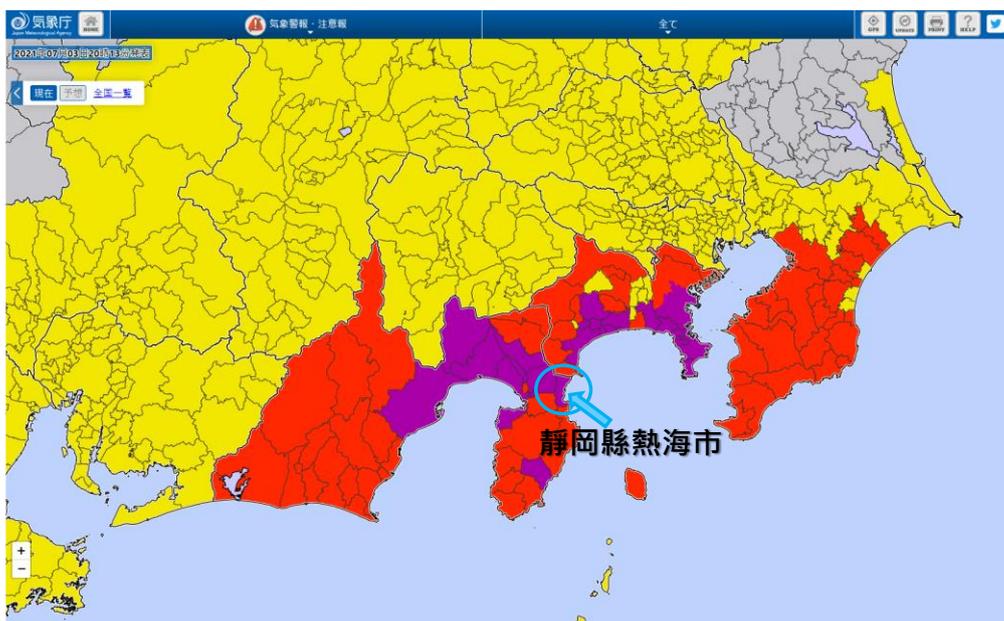


圖 8、07 月 3 日防災警戒級別之避難指示情報，紫色表示第 4 級警戒、紅色為第 3 級警戒地籍（資料來源：日本氣象廳[2]）

自 2021 年 5 月 20 日起
接獲避難指示敬請直接疏散
不再發佈避難勸告

警戒等級	新避難訊息	舊有避難訊息制度
5 災害發生/即將成災	緊急安全措施 ※1	發生災害訊息 (一旦確認災害發生立即發佈)
< 請務必在警戒等級 4 前先行疏散! >		
4 高災害風險	避難指示 ※2	・避難指示 (緊急) ・避難勸告
3 災害風險	老年人等疏散 ※3	避難準備、 老年人等開始避難
2 天候現正惡化	大雨、洪水或暴潮注意報 (日本氣象廳)	大雨、洪水或暴潮注意報 (日本氣象廳)
1 天候可能惡化	預警訊息 (日本氣象廳)	預警訊息 (日本氣象廳)

圖 9、防災警戒等級之避難指示訊息（資料來源：日本內閣府[13]）

3.應變復原緊急措施

熱海市發生土石流災害發生後，國土交通省委員會為避免二次災害發生，經由專家與緊急調查專家團隊（TEC-FORCE），建議安裝邊坡監測設備，提供安裝種類與位置之相關技術諮詢。如圖 10 所示，為搜救人員之安全，崩塌發生源頭區裝設雨量計和地面伸張計，以監控邊坡滑動狀況，當降雨量超過標準值時，或當地面伸張計變形超過標準值時，提出暫停搜救工作的參考判斷標準。另外，裝設現地攝影機，與靜岡縣和熱海市相關組織共享，透過影像監控，有土石流發生時，利用警報器、訊息以及電子郵件等通知危險。

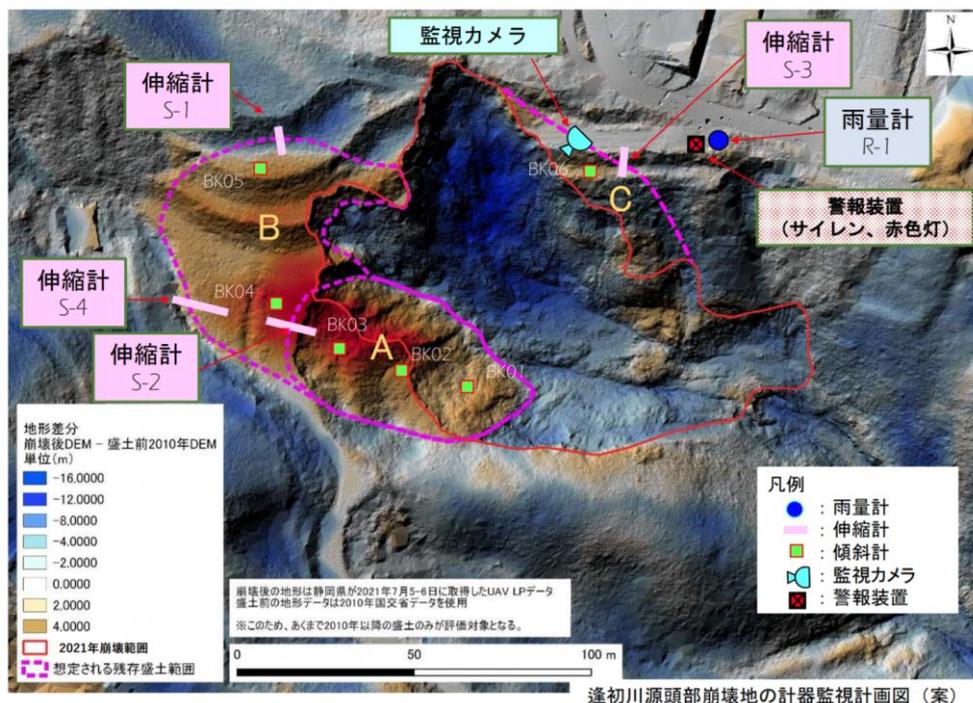


圖 10、國土交通省與中部地方整備局熱海監測系統裝設位置圖（資料來源：靜岡縣[8]）

四、 災因分析彙整

根據歷年衛星影像資料、日本國土地院 2009 年（中部地方整備局之公共測量資料）、2019 年（靜岡縣之公共測量資料）以及 2021 年 7 月 6 日災後的數值地形資料，進行地形變化分析結果，如圖 12、圖 13 以及圖 14 所示，2011 年山區已有大範圍的土地開發，紅色框線為此次事件之填土區範圍，呈現階梯狀地表型態；2016 年衛星影像已顯示出土石流事件溪溝右岸稜線已開始進行太陽能廠區整地，2019 年與 2021 太陽能板開始裝設。各年度地形變化說明如下 [8][9][10][11][15]：

1. 2009 年以前防砂壩已建置完成，防砂壩以上之河道窄且深，河道平整；土石流災害發生後，壩體庫區增加 7500m³ 土方。
2. 根據靜岡縣調查報告指出，2009 年申報為三階填土工程，填土高度約 15m，填土範圍約 3.6 萬 m³。然而，根據 2020 年與 2010 年地形圖比較後，填土範圍內填土高度約 35m 至 52m 之間，如圖 11 所示，推估約有 5.4 萬 m³ 土方 [8][15]。
3. 土石流流出之土方量 90% 來自於填土區 [8]。
4. 2021 年土石流發生後，仍有約 2 萬 m³ 土方在原來填土區上（如

圖 10 中 A 與 B 區殘留土)。有鑒於此，現勘之專家建議未來災害發生機率高，建議復原重建完成前，須嚴防二次災害發生以及擬定相關應變作為。

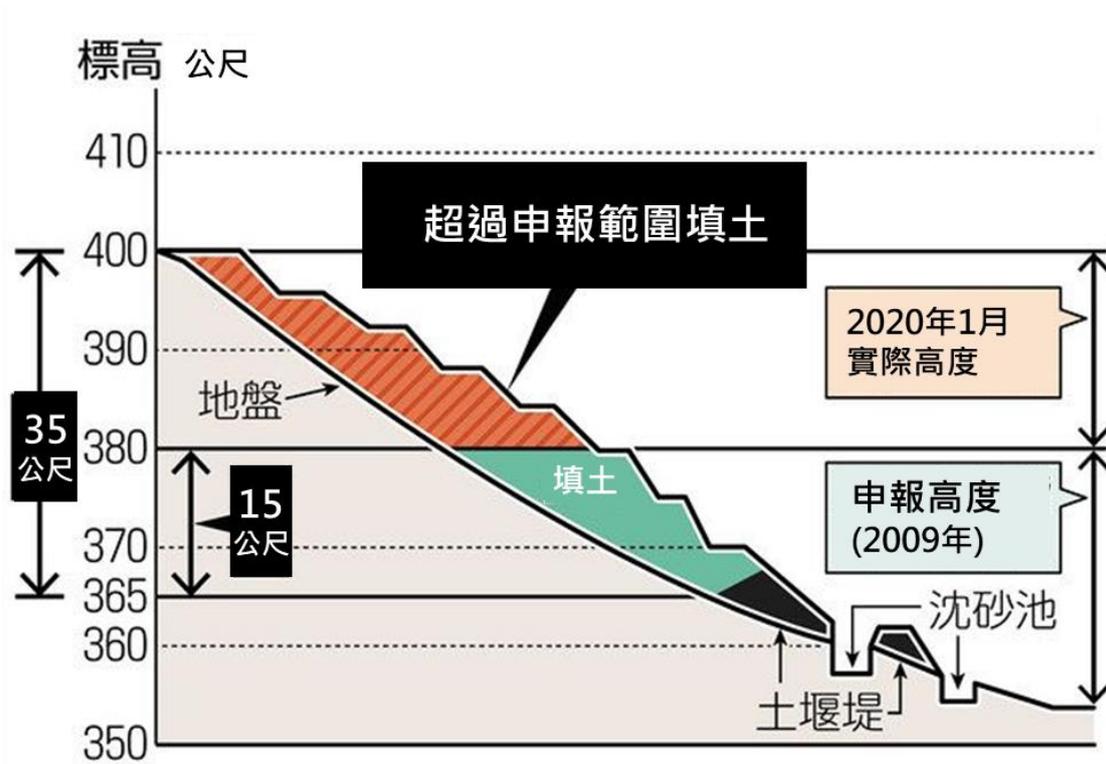


圖 11、填土工程申報與實際高度比較表（改繪資料來源：靜岡縣[8]、中日新聞[15]）

根據靜岡大學防災中心北村晃壽教授現地調查判斷，伊豆山發生土石流的地形與型態，具有以下特性[10]：

1. 發生土石流河谷地勢較為平直，平均坡度為 11.3° ，坡度變化不大，河谷底部平坦地窄至約 100 m。
2. 土石流堆積區之土砂濃度測試，含水量相當高（31.0%～

36.2%)，可使土石流可以高速與長距離之向下流動。

另外，根據現地照片顯示，土石堆積材料較為均質，與自然邊坡崩塌產生不同之粒徑土砂、樹木及其他植生有所不同。根據源頭照片顯示，崩塌後之坡面地下水流出，山谷匯集的雨水滲透與地下水位上升，造成填土邊坡失穩，雨水夾帶大量土砂流出，淘刷兩側河道，帶出更多土砂，導致下游土砂淤埋災情更為嚴重，如圖 14 所示。



圖 12、2019 年（左）與 2021 年（右）災後航空影像比較（資料來源：日本國土地理院）

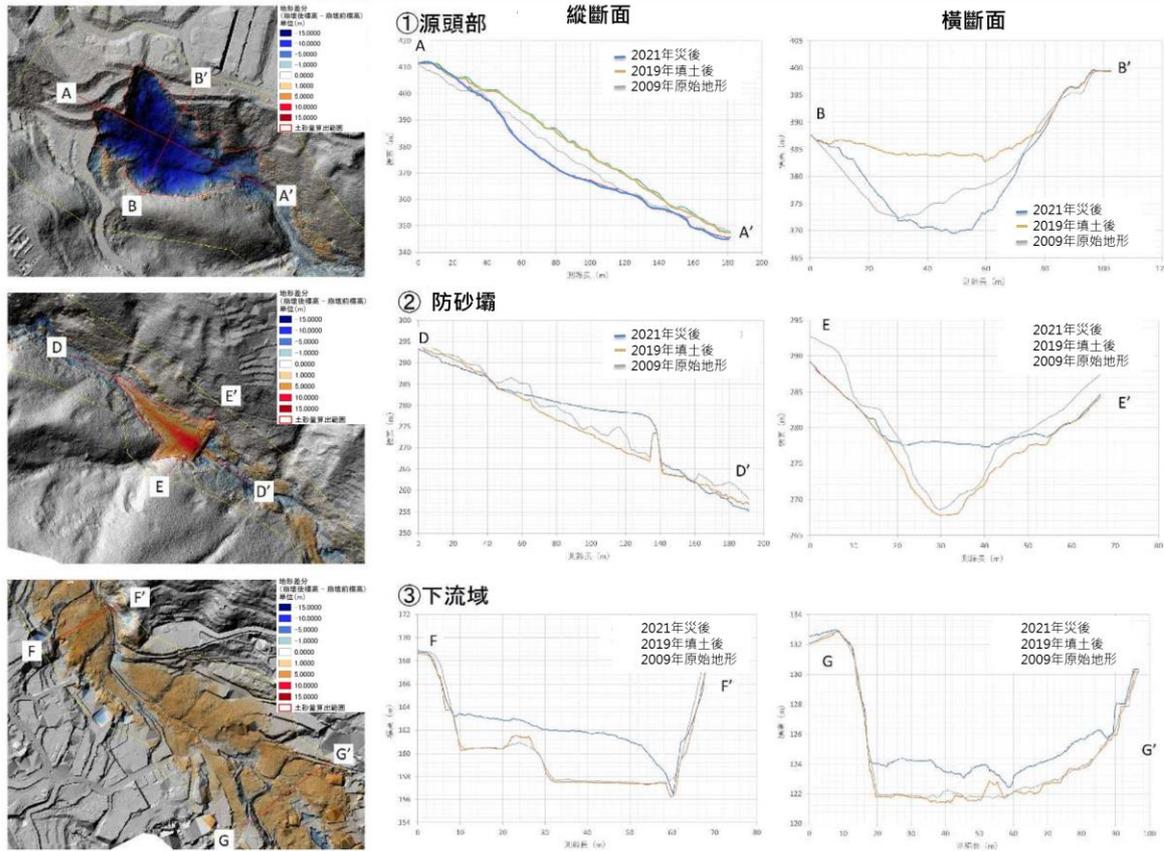


圖 13、2009、2019 以及 2021 年高程變化圖 (資料來源：靜岡縣[8])



圖 14、土石流災害源頭之回填土地下水位持續湧出 (資料來源：日本國土地理院與靜岡縣政府[10])

五、綜合討論

1. 災後緊急製圖公開與共享

日本國土地理院（GSI）為「日本災害對策基本法」的指定行政機關（DGOs），其防災相關業務為提供國家基本地理空間資訊，可在日本重大自然災害事件後，一週至一個月內迅速公開相關資料。例如本次熱海市土石流災後，由 GSI 的相關部門出動無人機勘測隊（Geographical Survey Institute Landbird，俗稱 GSI-LB），執行正射攝影任務，立即於 5 日開始公開相關災後影像，並以事件式網頁彙整土地利用圖、火山地形圖、數值高程地形圖、歷史影像以及研判分析後之圖資連結，提供其他單位進行後續分析，達到資料公開與共享。

2. 回填土與限制法令

根據靜岡縣政府調查報告瞭解此次土石流發生原因，除了長延時降雨之外，山谷源頭約 5 萬立方公尺違規回填土，是造成災害衝擊主要原因。由 2020 年 1 月與 2010 年 1 月的地形圖後發現，申請填土合法高度與實際高度相差兩倍，額外承載能力與超出下方防砂壩庫容量，致使流出之 90% 填土區之土方量衝擊下方溫泉區。經由此次熱海土石流事件，引起日本政府與民眾關注回填土、棄土堆置使用管制

與法令是否有嚴格執行，並作全面性清查。

3. 災民集中入住旅館兼顧防疫，減少政府工作人員負擔

災害發生後，熱海民眾分散收容在小學及公民館（類似臺灣社教館）等地，但因土石流的規模與後續可能的復原重建時間較長，需延長收容時間。由於熱海市擁有超過 140 間旅館，是日本知名的溫泉觀光地區，熱海市政府與溫泉飯店合作，市政府於 7 月 4 日起將災民轉移到市內兩間飯店旅館與一所小學內，熱海市最多曾透過旅館收容 584 位災民，截至 7 月 28 日為止，尚有 332 位居民分別住在兩間旅館中[16][17][18]。

使用旅館作為避難所的好處是，政府人員可以被重新分配到其他工作，且可以避免一般避難所容易發生的群聚感染，熱海市也於 7 月 19 日為旅館避難的災民接種 COVID—19 疫苗，降低旅館群聚感染的風險。縮減避難所數量，可讓政府更容易派遣醫師及保健師進駐，也更容易掌握現有物資的供應情形。靜岡縣政府也派遣災難精神醫療救援隊（DPAT）前往各避難所巡迴駐點，以提供長期協助為目標，協助災民面對災後的心理狀況。另外，除災民採用旅館收容外，投入救災的自衛隊，也降低營地帳棚的容納量，將原本可以容納四人限制為兩人，並在床位間懸掛塑膠隔板[19]。

然而，以旅館作為避難所面臨的問題是房間數有限，以及飯店業者面臨長時間收容與觀光收益的平衡影響意願，例如 7 月 6 日熱海市政府因有 16 位災民無法入住旅館，曾再重新開放熱海市第一小學作為避難所。

4. 新科技協助保險理賠

過去保險金賠償是根據現場勘查的結果來評估，而在這次災害事件，有產業保險公司使用衛星影像判斷受災情形並快速付款。這個方法可減少必須到現場勘查的工作人員數，可避免 COVID-19 的傳播，以及因大量災民或志工導致住宿需求短缺；亦有其他產險公司結合無人機、保護提供的照片等其他資料，檢查災害損失情況[20]。

六、 結語

綜合分析日本熱海市土石流受災情形、降雨以及疫情下之防救災運作狀況，除指出長時間降雨是主要致災原因外，回填土違法使用與管理寬鬆導致災害發生。然而，在嚴峻疫情下，日本政府利用當地溫泉旅館進行收容安置，可避免災民群聚感染之外，也減少政府工作人員負擔。另外，日本國土的地理院於災後公開分享現地影像，包括航空照片、無人機拍攝影像以及其他土地利用相關影像，有助於搶救災

工作進行。同時，產業保險公司利用衛星影像、無人機影像以及 AI 新科技作為判斷房屋受損等級，以加速保險賠償作業期程。因此，面對新型態、複合性之災害威脅，各種災害類型之災害防救業務計畫，應為災害管理之基本指引，對於新科技輔助與現地社會經濟活動多元性，適當調整防災應變作為，期望有效減少災害帶來的衝擊。

參考文獻

- [1] 熱海泥石流，經濟損失 15 億日元……住宿陸續取消，讀賣新聞，2021/09/02，
<https://www.yomiuri.co.jp/national/20210831-OYT1T50281/>
- [2] 日本國土交通省氣象廳 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- [3] 7 月 1 日から 3 日の東海地方・関東地方南部を中心とした大雨，2021/7/8，
日 本 氣 象 本 廳 ，
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2021/20210708/jyun_sokuji20210701-0703.pdf
- [4] 熱海市の土石流災害 解析雨量から分析 土石流発生の可能性は広い範囲
に あ っ た ， 2021/7/5 ， 日 本 氣 象 協 會 ，
https://tenki.jp/forecaster/r_anzai/2021/07/05/13079.html#sub-title-b
- [5] 日本熱海土石流 5 死 29 失聯 當局調查是否跟填土造地有關，中央通訊社新
聞，2021/07/06<https://www.cna.com.tw/news/firstnews/202107060245.aspx>
- [6] 熱海市の土石流 - landslide in Atami, Japan - frana in Giappone, 2021/07/03，
<https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=JV1gDoCN9mk>
- [7] 熱海伊豆山地区の土石流の発生について（第 50 報），2021/09/03，
<https://www.pref.shizuoka.jp/kinkyu/documents/atamidonya0903.pdf>
- [8] 第 2 回逢初川土石流災害対策検討委員會説明資料，静岡縣，2021/07/16，
[https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/documents/iin
nkaishiryu2.pdf](https://www.pref.shizuoka.jp/kensetsu/ke-350/sabouka/documents/iin
nkaishiryu2.pdf)
- [9] 静岡県熱海市における土石流災害の検証報告の概要（案），
<https://www.pref.gifu.lg.jp/uploaded/attachment/267425.pdf>
- [10] 2021 年 7 月 3 日に静岡県熱海市伊豆山地区で発生した土石流の速報，静
岡 大 學 防 災 中 心 北 村 晃 壽 ， 2021/07/25 ，
[https://www.shizuoka.ac.jp/cms/files/shizudai/bousai/0100/uKuXX9c
h.pdf](https://www.shizuoka.ac.jp/cms/files/shizudai/bousai/0100/uKuXX9c
h.pdf)
- [11] 静岡・熱海 伊豆山地区で土石流が発生。上空からは山肌がえぐられた様
子 が 確 認 で き た ， 中 日 新 聞 社 ， 2021/07/03 ，
<https://www.youtube.com/watch?v=0v7V10PPtgw&t=11s>
- [12] 日本内閣府 <http://www.bousai.go.jp/index.html>

- [13] 日 本 内 閣 府 防 災 情 報
http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinanjouhou/r3_hinanjouhou_guideline/pdf/TW_omote.pdf
- [14] 土石流発生前に熱海市が「避難指示」を出していなかった理由 「避難勧告」なくなり判断難しく、東京新聞、2021/7/5、
<https://www.tokyo-np.co.jp/article/114705>
- [15] 土石流の大半が盛り土 高さ35メートル、届け出の倍以上、中日新聞、2021/7/9、
<https://www.chunichi.co.jp/article/287516>
- [16] 室内に風呂・食事はバイキング、ホテルへの避難「快適」だけど…心身の疲労は色濃く、2021/7/7、
<https://www.yomiuri.co.jp/national/20210707-OYT1T50138/>
- [17] 知事、災害公営住宅整備の方針、
https://www.asahi.com/articles/ASP7M72S4P7MUTPB00Y.html?iref=pc_ss_date_article、2021/7/28
- [18] ホテルを住民の避難所に 観光地の特性生かす 熱海土石流、静岡新聞、
<https://www.at-s.com/news/article/shizuoka/925764.html>、2021/7/20
- [19] 岸防衛相「引き続き人命救助」熱海市の土石流現場視察、
https://www.asahi.com/articles/ASP7L6JQGP7LUTFK00X.html?iref=pc_ss_date_article、2021/7/18
- [20] 人工衛星で「全損」認定 熱海の水害で損保大手が新技術、2021/7/16、
https://www.asahi.com/articles/ASP7J5DX4P7JULFA00Q.html?iref=pc_ss_date_article