

2023土耳其地震序列

2023-02-06 01:17:35 (UTC) M7.8

2023-02-06 10:24:49 (UTC) M7.5

台灣地震科學中心 教育推廣委員會

主席：溫怡瑛

委員：馬國鳳、梁文宗、曾泰琳、王昱、陳卉瑄、郭昱廷
林彥宇、莊昀叡、柯彥廷

小編：吳美芳、孫維芳



短摘

2023年2月6日，土耳其當地時間凌晨4點17分於南部與敘利亞接壤的加濟安泰普省發生Mw 7.8強震，不幸的是，9小時之後，在距離不到100公里處，又發生Mw 7.5地震，兩次地震的強烈地振動皆達MMI震度 9級，造成嚴重災損，在一天之內已造成5千多間建物倒塌、3千8百多人死亡、與1萬4千多人受傷，傷亡數字還在持續累積。

本次Mw 7.8與Mw 7.5土耳其地震序列主要發生在東安托利亞斷層系統，歷史紀錄顯示鄰近區域在1114年與1513年都有重大地震事件發生，而近期則為1998年於安達納省的Ms 6.2災害地震。

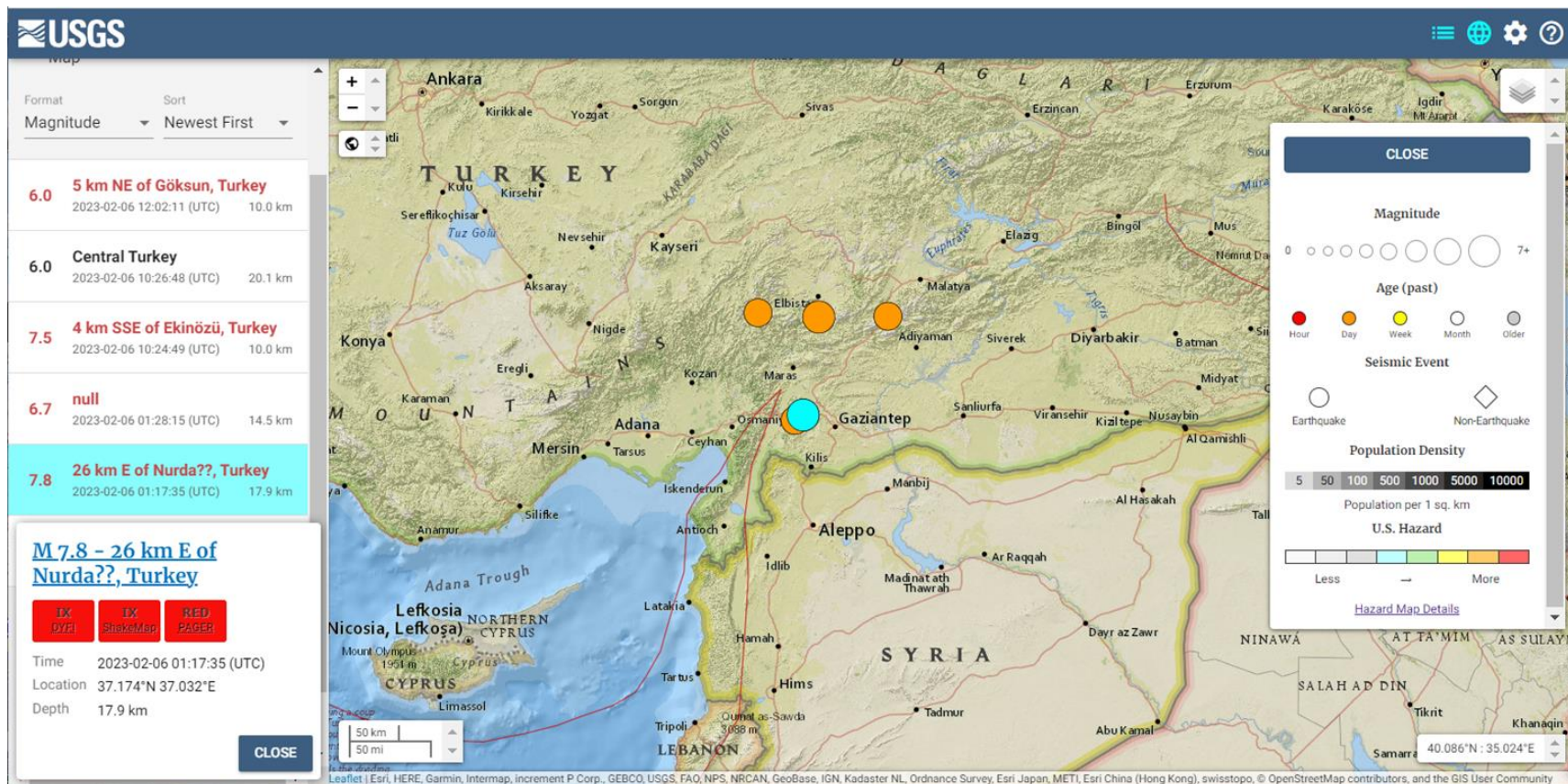
本篇即時報導彙整此次土耳其地震序列之震源特性，概述此區域歷史地震活動與構造背景。



照片來源：法新社

地震資訊

2023年2月6日當地時間04:17:35，在土耳其南部與敘利亞接壤的地區發生Mw 7.8強震，震央位於加濟安泰普省(Gaziantep)努爾達伊鎮(Nurdağı) (東經37.03度，北緯37.17度)，震源深度17.9公里。9小時之後，在距離不到100公里處，又發生Mw 7.5地震，震源深度僅10公里，兩次地震的強烈地振動皆達MMI震度 9級，造成嚴重災害。



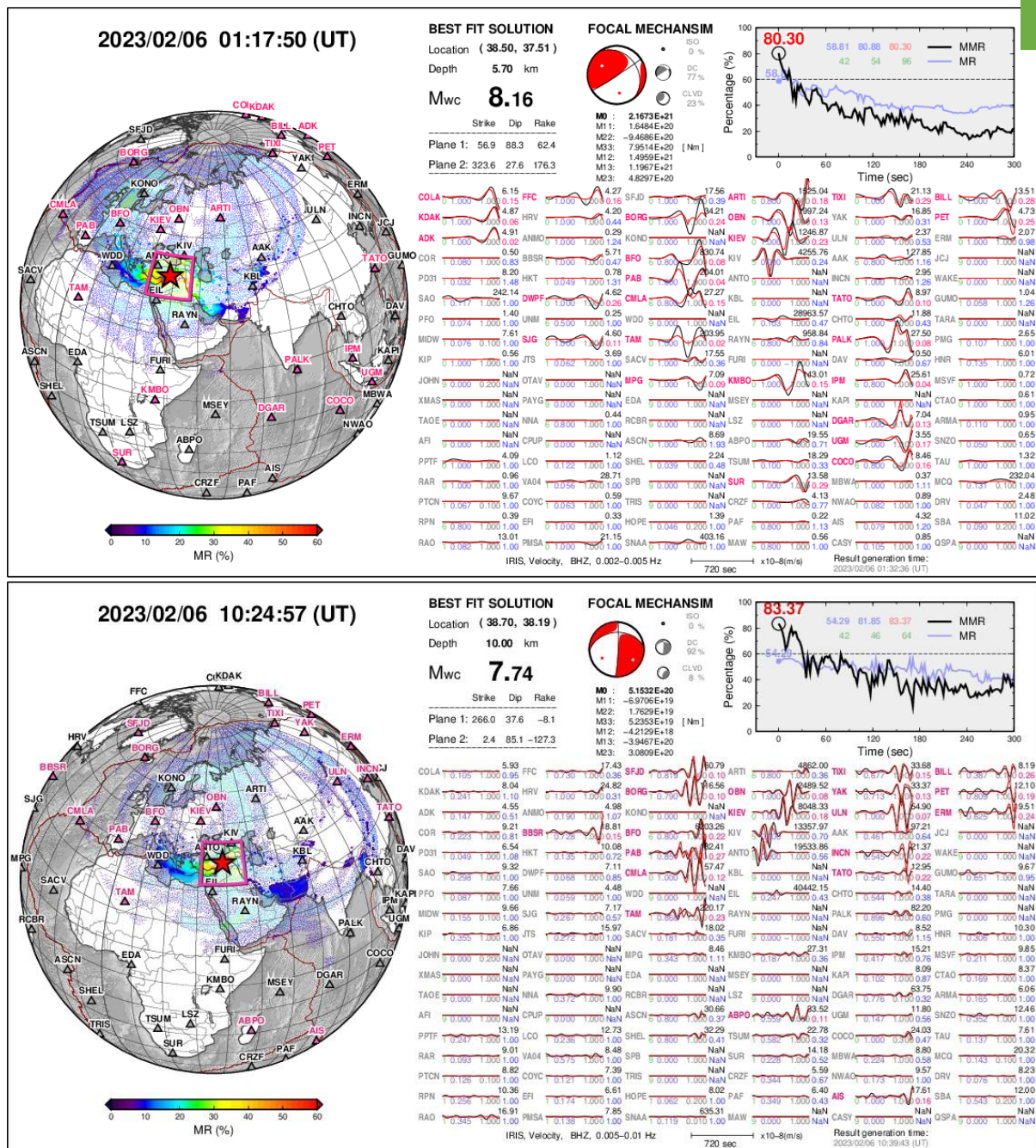
來源：<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes>



全球即時震源 機制解 (GRMT)

由中研院地球所發展的解算系統，每兩秒鐘就能根據分布全球的地震測站波動紀錄，解算一次對應的地震位置和震源機制解。在這次事件中亦發揮快速解算的效果。

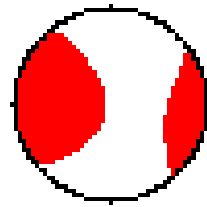
(註：地震位置和發震時間為最佳解的中央位置和時間，即centroid location/time)



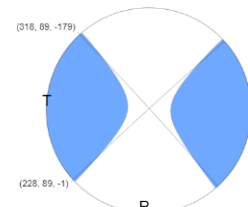
M7.8地震之震源機制與參數比較



GRMT
(IES)



GCMT
(Global CMT)



W-Phase
(USGS)

Plane	Strike	Dip	Rake
NP1	57°	88°	62°
NP2	324°	28°	176°

Plane	Strike	Dip	Rake
NP1	54°	70°	11°
NP2	320°	80°	160°

Plane	Strike	Dip	Rake
NP1	318°	89°	-179°
NP2	228°	89°	-1°

資料來源	深度	規模
GRMT	5.70 km	Mwc 8.16
GCMT	14.9 km	Mw 7.8
USGS W-phase	17.5 km	Mww 7.75

本地震之震源深度在5-20公里之間，地震矩規模(M_w)為 7.8-8.2。

可能的斷層面為東北-西南走向的左移構造；或西北-東南走向的右移構造，兩種可能的斷層面傾角皆為高角度。

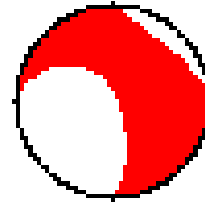
看懂斷層面解：

https://bats.earth.sinica.edu.tw/Doc/beach_ball_ch.html

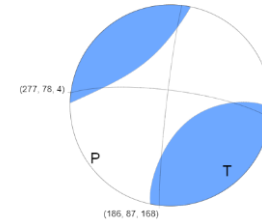
M7.5地震之震源機制與參數比較



GRMT
(IES)



GCMT
(Global CMT)



W-Phase
(USGS)

Plane	Strike	Dip	Rake
NP1	266°	38°	-8°
NP2	2°	85°	-127°

Plane	Strike	Dip	Rake
NP1	261°	42°	-8°
NP2	358°	84°	-132°

Plane	Strike	Dip	Rake
NP1	277°	78°	4°
NP2	186°	87°	168°

資料來源	深度	規模
GRMT	10 km	Mwc 7.74
GCMT	12 km	Mw 7.7
USGS W-phase	10 km	Mww 7.55

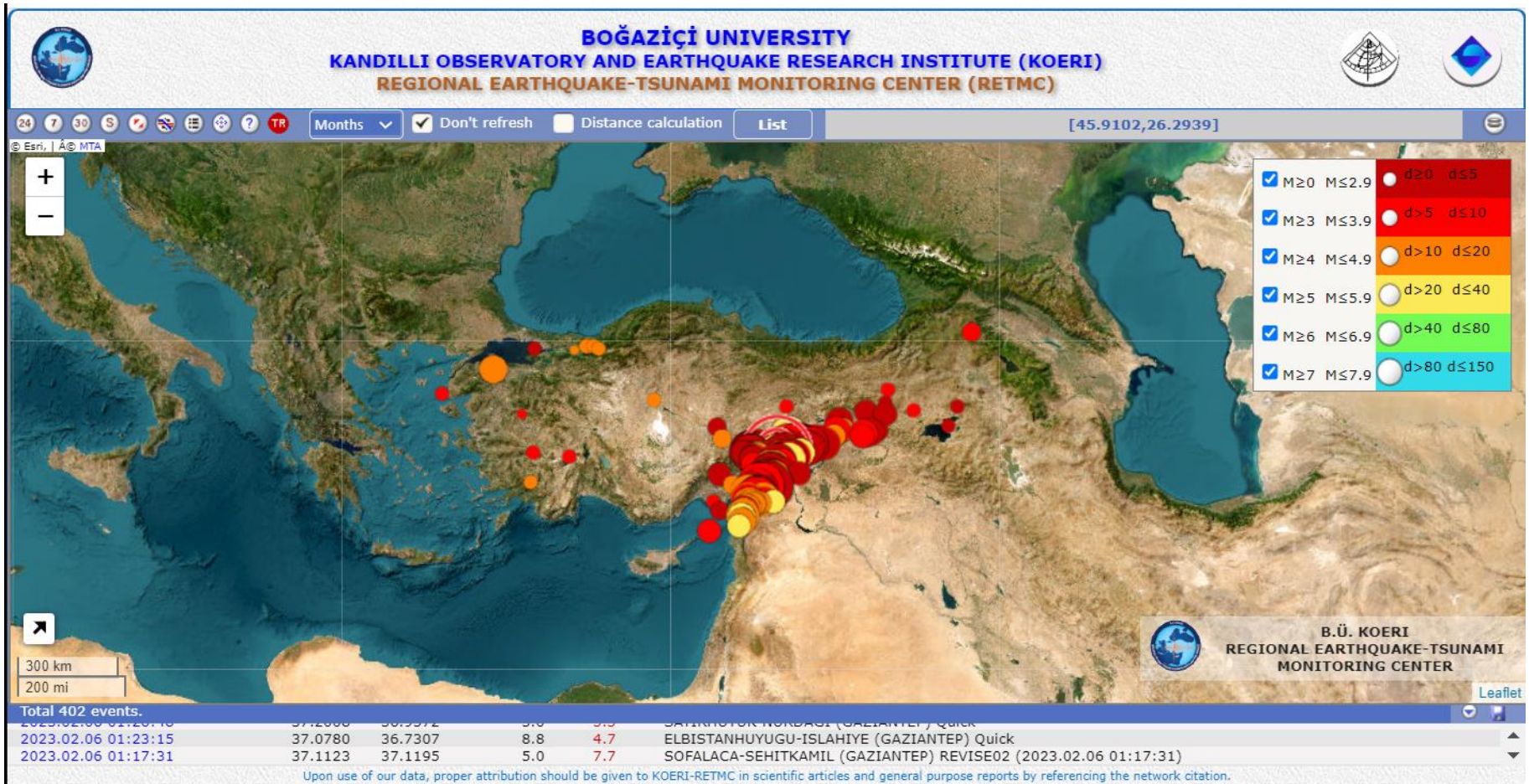
本地震之震源深度在10-12公里之間，地震矩規模(M_w)為 7.5-7.7。可能的斷層面為東-西走向的左移構造；或南-北走向的高角度傾角右移構造。

看懂斷層面解：

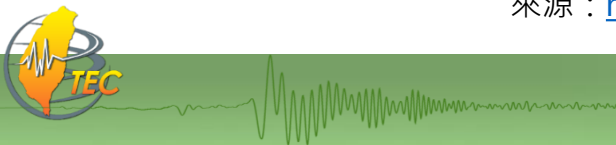
https://bats.earth.sinica.edu.tw/Doc/beach_ball_ch.html

地震序列

在土耳其M 7.8強震發生後，24小時內陸續發生4百多起地震活動，其中 $M > 5$ 事件超過20起，而 $6 \leq M \leq 7.5$ 地震則有4起。

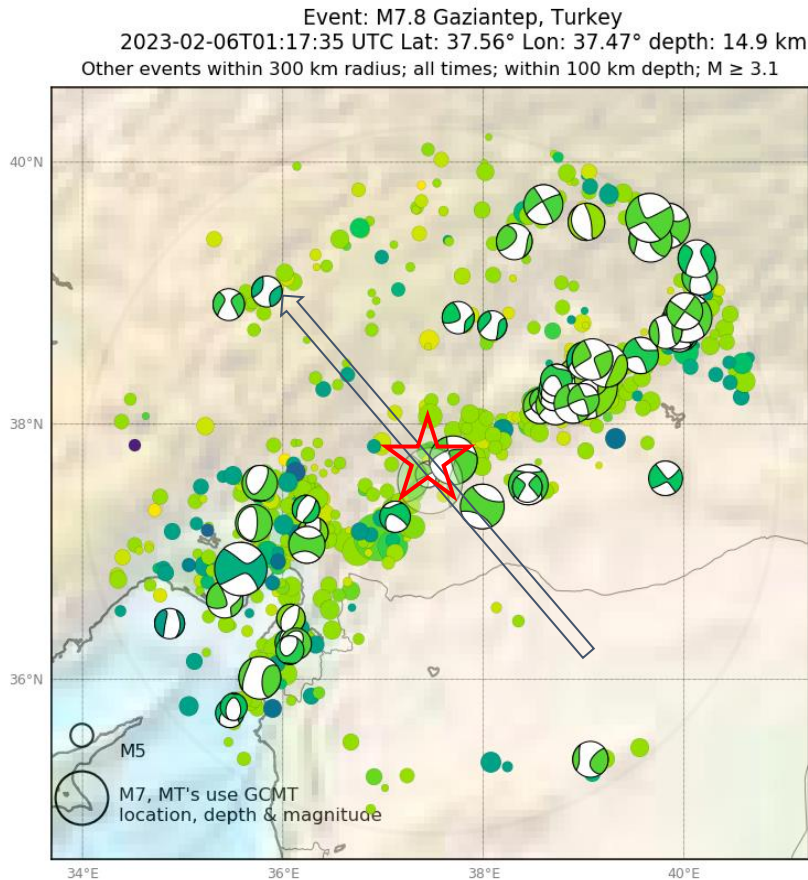


來源：<http://udim.koeri.boun.edu.tr/zeqmap/hgmmmapen.asp>

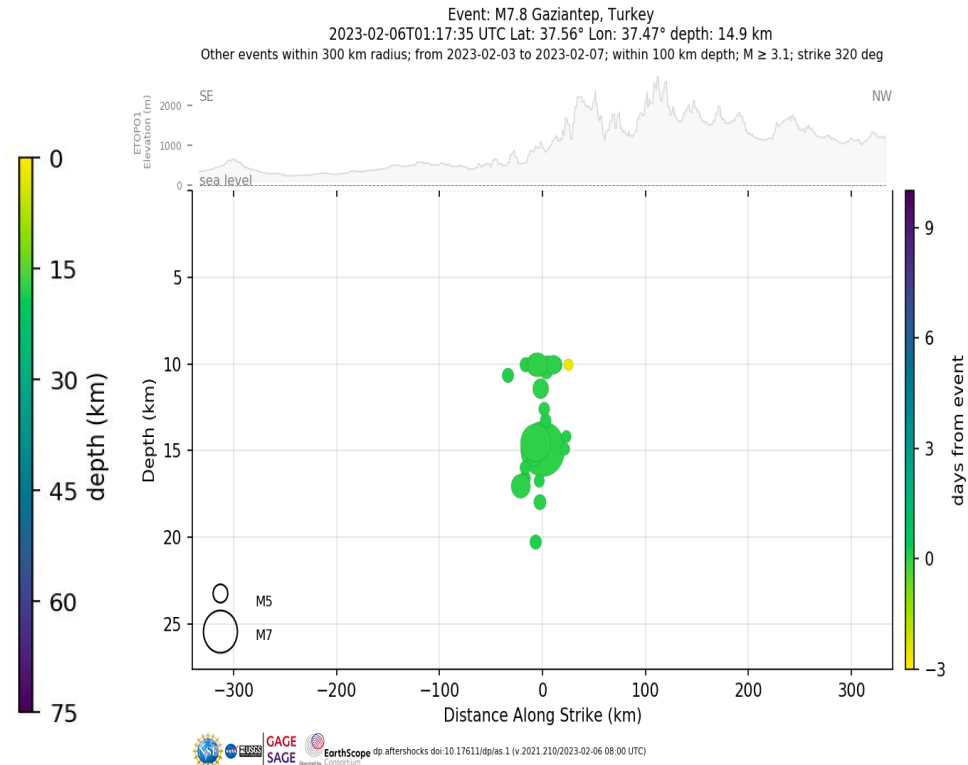


2023-02-06 M7.8 之餘震分佈

大量的餘震主要呈東北-西南分佈，符合震源機制解中走向為54度的斷層面，亦與當地的斷層線構造相符。若沿著西北方向 (即垂直斷層線) 剖面圖，右圖可看出餘震近乎垂直地分佈在深度10-20公里間，是標準的走向滑移斷層。



剖面圖 (沿320度方向)

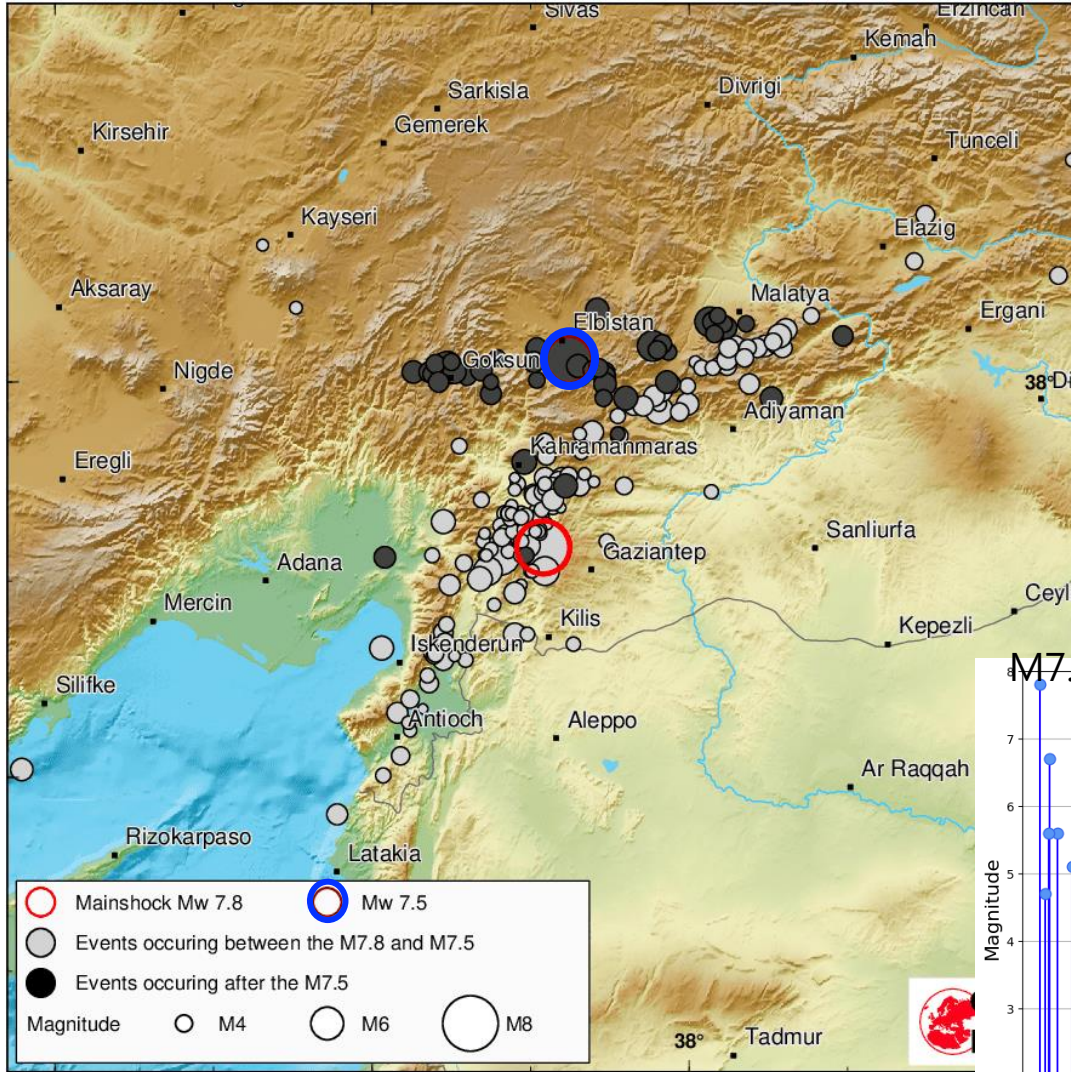


ps. 此圖以地震能量中心位置作圖

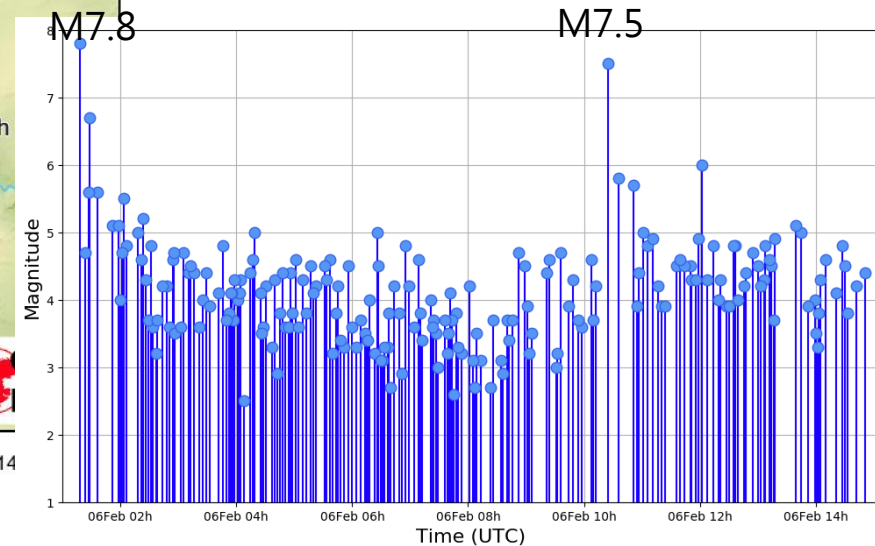
來源：<https://ds.iris.edu/spud/event/11654089>

2023-02-06 M7.8 + M7.5 雙地震之餘震分佈

9



M7.8地震(紅圈)發生後不到九個小時，震央以北又再次發生了一起M7.5的大地震(藍圈)，由於第二個大地震的餘震分佈較為北邊(深灰色)且呈東西走向，與原7.8地震分屬在東安納托利亞斷層帶中的不同的斷層分支。

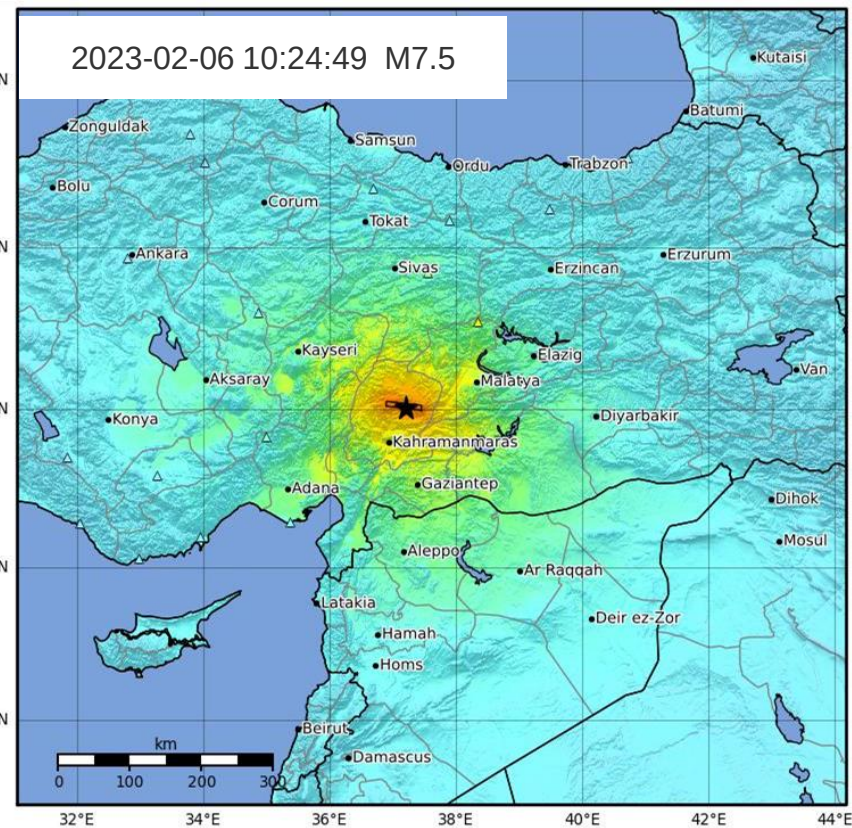
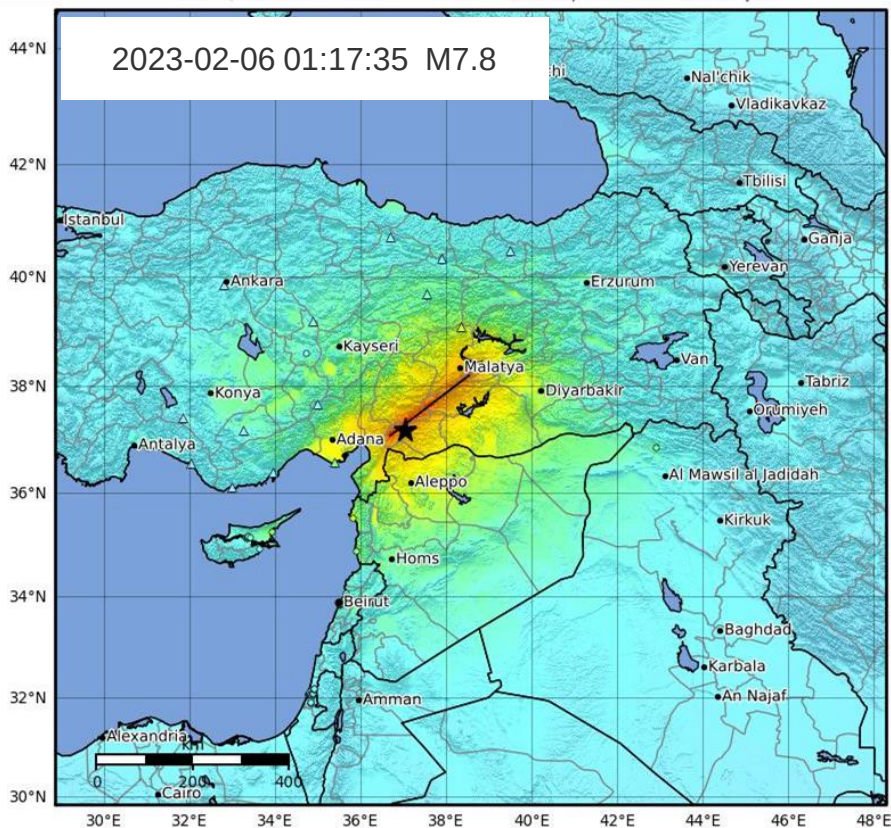


<https://www.emsc-csem.org/Earthquake/271/Earthquake-sequence-in-Turkey-February-6th-2023>



震度分佈圖

根據地震規模與斷層破裂計算，兩次地震的近斷層強烈地振動皆達MMI震度 9級，且周邊城市區域的震度也達到MMI震度7級以上，造成嚴重災害。



SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.0464	0.297	2.76	6.2	11.5	21.5	40.1	74.7	>139
PGV(cm/s)	<0.0215	0.135	1.41	4.65	9.64	20	41.4	85.8	>178
INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IX+

Scale based on Worden et al. (2012)

△ Seismic Instrument ○ Reported Intensity

★ Epicenter □ Rupture

Version 5: Processed 2023-02-06T05:11:59Z

SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.0464	0.297	2.76	6.2	11.5	21.5	40.1	74.7	>139
PGV(cm/s)	<0.0215	0.135	1.41	4.65	9.64	20	41.4	85.8	>178
INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	IX+

Scale based on Worden et al. (2012)

△ Seismic Instrument ○ Reported Intensity

★ Epicenter □ Rupture

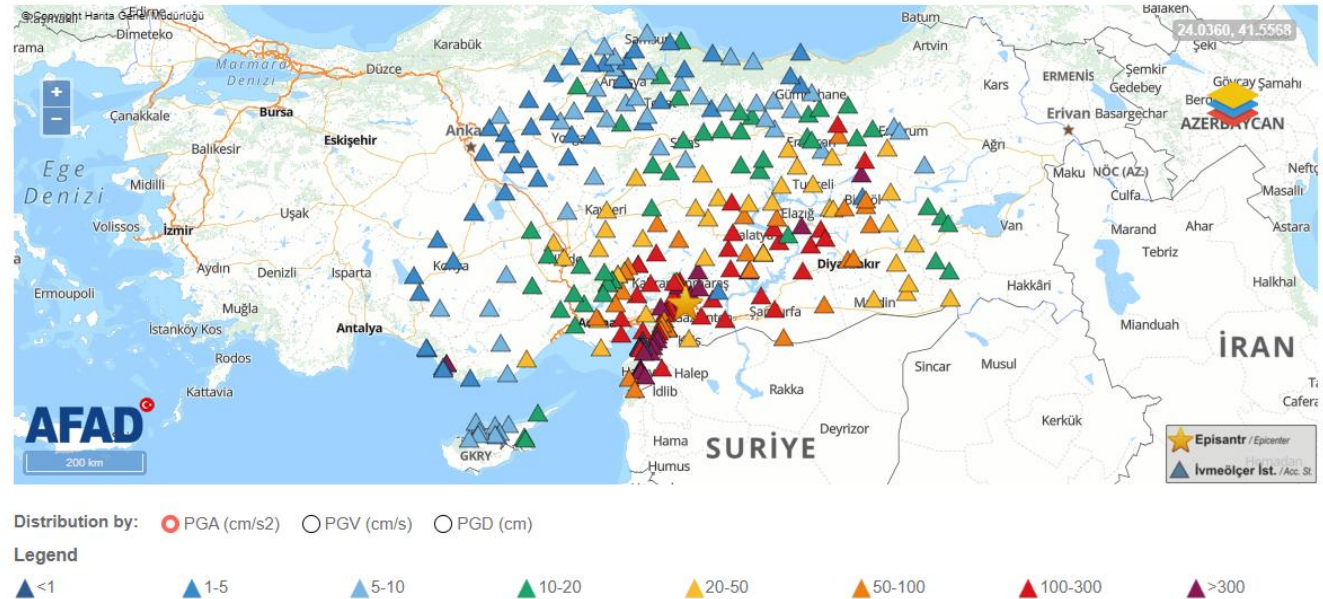
Version 4: Processed 2023-02-06T12:57:28Z



觀測最大地表加速度(PGA)分佈圖

2023-02-06 01:17:35 M7.8

根據土耳其地震網的紀錄，M7.8地震的最大PGA超過1g，震央西南方地區可能受到場址效應影響，許多測站皆觀測到PGA>0.5g。

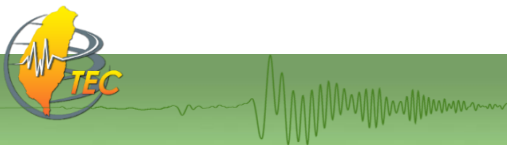
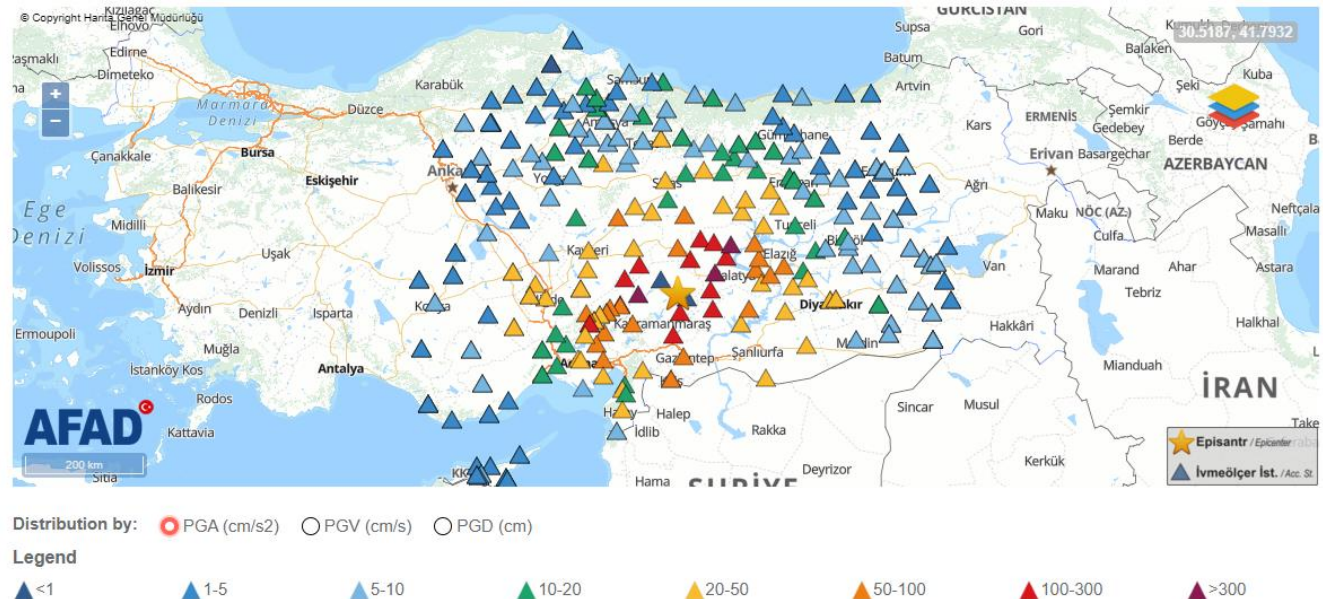


2023-02-06 10:24:49 M7.5

M7.5地震在震央附近觀測到的最大PGA則達到0.9g。

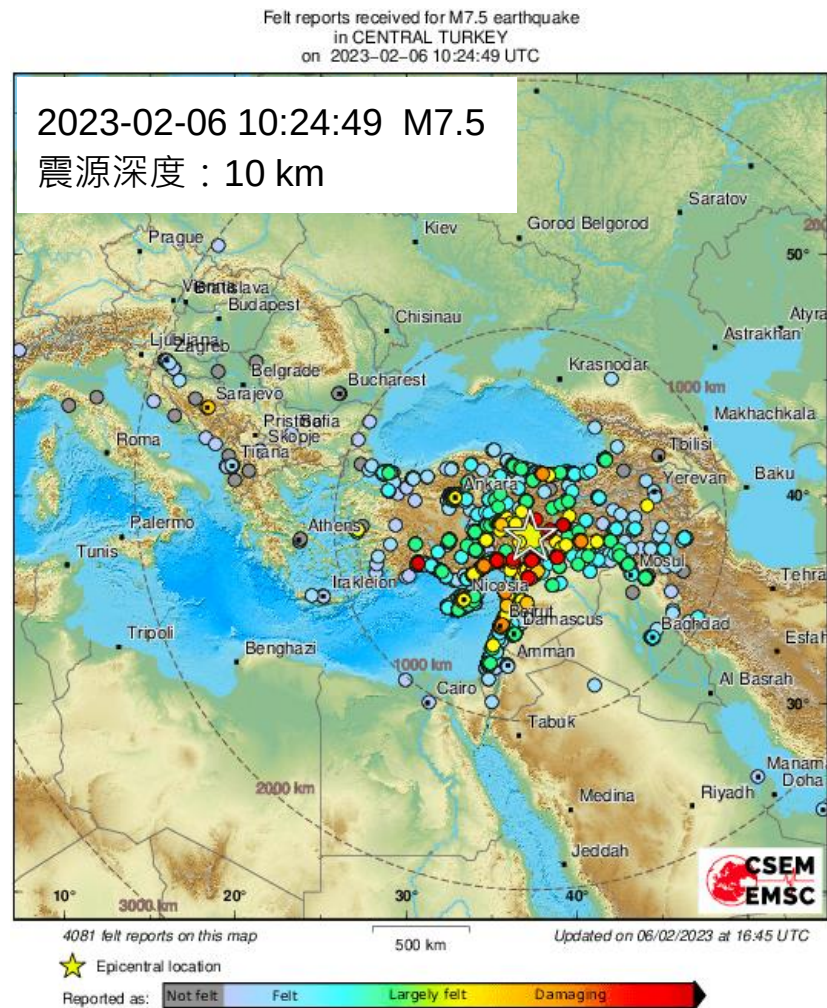
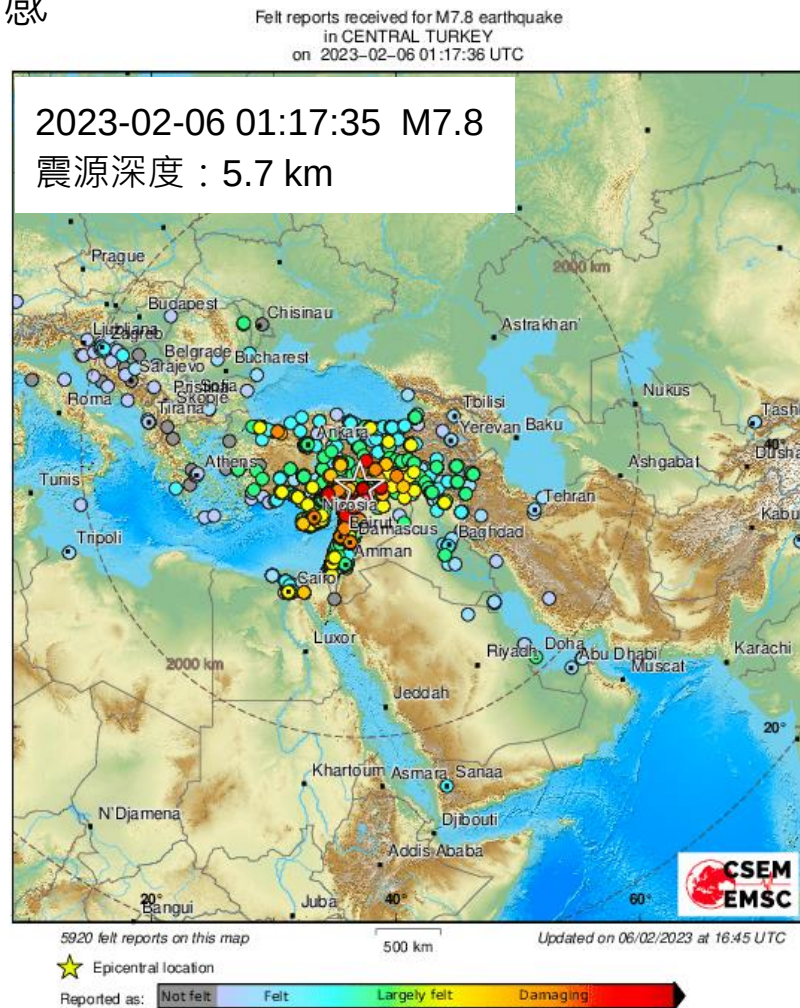
資料來源：

<https://tadas.afad.gov.tr/>



地震感受度與災害通報分佈圖

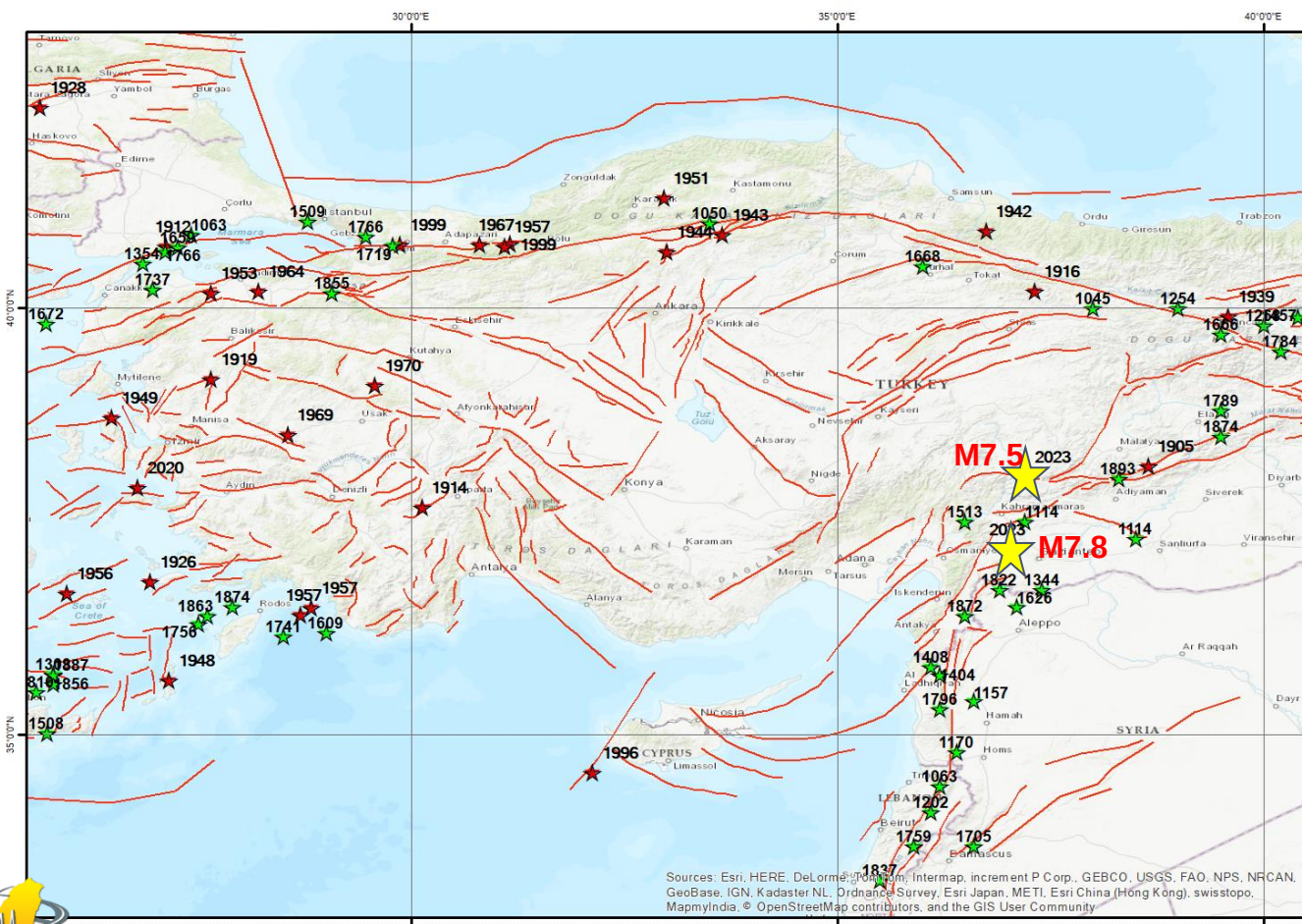
兩次地震皆屬淺源地震，除震央附近遭遇嚴重災害外，周邊南歐國家與中東地區皆有震感



資料來源：EMSC

土耳其歷史地震

透過全球地震模型計畫所整合的全球歷史地震資料庫，以及美國地質調查所提供的歷史地震震央位置，可以發現本次地震序列主要位於土耳其東南方的主要地震帶上，2023年 M7.8與M7.5震央(黃色星號)附近在1114年，以及1513年都有重大地震事件的紀錄，在19世紀亦有多次規模7-7.5左右的地震事件。



綠色星星表示自西元1000-1900年間的主要歷史地震位置，紅色則為1900年以來 $M \geq 6.8$ 的地震震央。紅色線條則為土耳其地區的主要活動斷層分布。

(資料來源：GEM Global Historical Earthquake Archive / Global Active Fault Database / US Geological Survey)

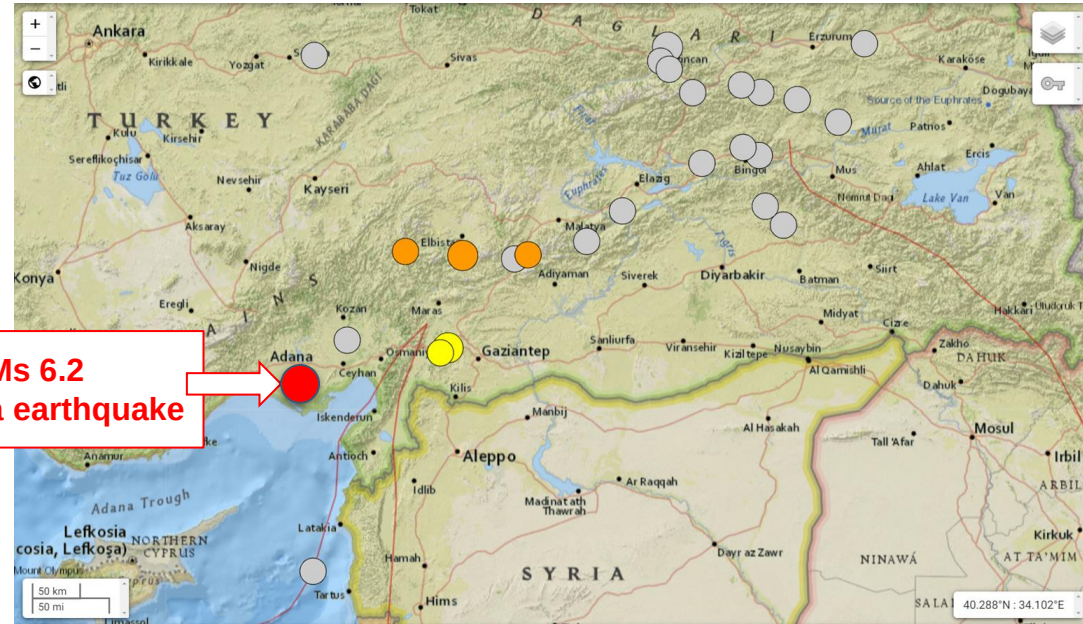
區域歷史地震

從美國地質調查所資料庫搜尋1900年以來

M>6的地震震央。

可以發現本次地震序列破裂斷層沿線，在過去100年左右並沒有明顯地震事件發生，暗示斷層處於閉鎖，累積應力的狀態。

靠近本次震央區域最近的中大型地震則發生於1998年安達納(Adana)省，規模Ms 6.2，造成145死及1500人受傷。



<https://twitter.com/afadbaskanlik/status/1409056744924499969?lang=zh-Hant>



<https://www.tarihtebugun.org/tarihte-bugun/27/haziran/1998/adana-ceyhan-depremi>

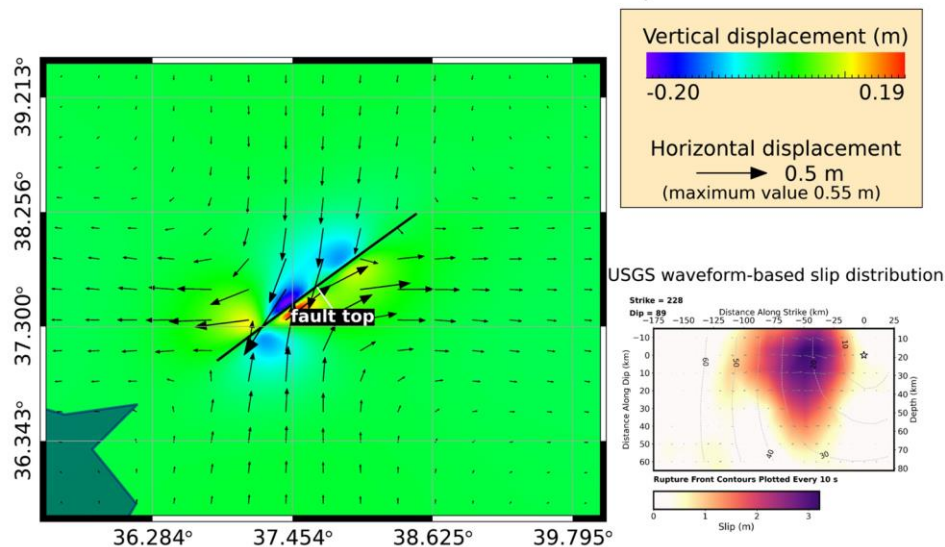


M7.8地震之地表變形模擬

地震波形資料所模擬出的斷層滑移量

M 7.6 Turkey
(6/2/2023, 01:17 UTC)

Predicted horizontal and vertical displacements



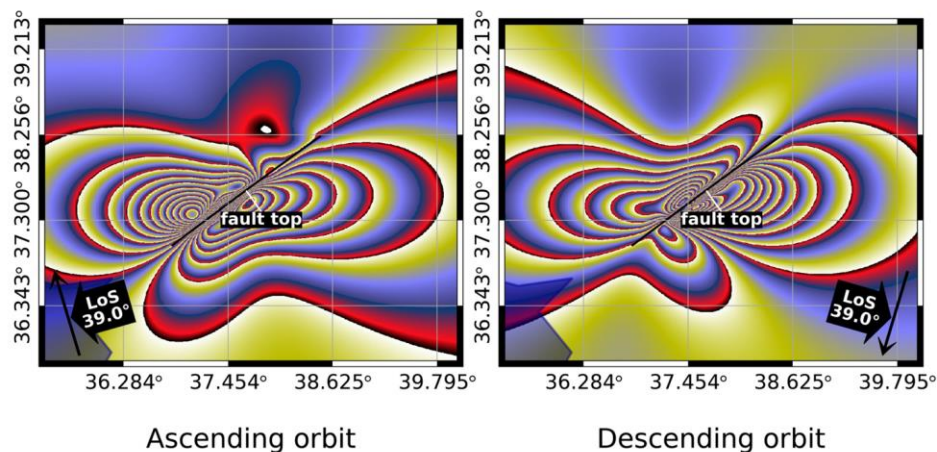
slip distribution from USGS - finite fault catalog: <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/earthquakes>

此圖右下方為美國地質調查所(USGS)利用地震的波形資料，透過數值模擬的方式所推估的斷層滑移量。斷層面上的水平滑移量約為3公尺，垂直位移量為0.2公尺。圖左則為模擬地表位移量，顏色顯示垂直位移，箭頭則為水平位移。

模擬的合成孔徑雷達差分干涉法之干涉環成果

M 7.6 Turkey
(6/2/2023, 01:17 UTC)

Predicted C-band InSAR fringes
(1 fringe = 2.8 cm in radar line-of-sight)



此圖為利用左圖USGS的斷層滑移分佈所推估的合成孔徑雷達差分干涉法(DInSAR)之干涉環成果。由於歐洲太空總署的Sentinel-1衛星在地震後9天才會進行拍攝，所以目前只能先以模擬的方式推估地表位移場。越多環的地方代表累積位移越大。

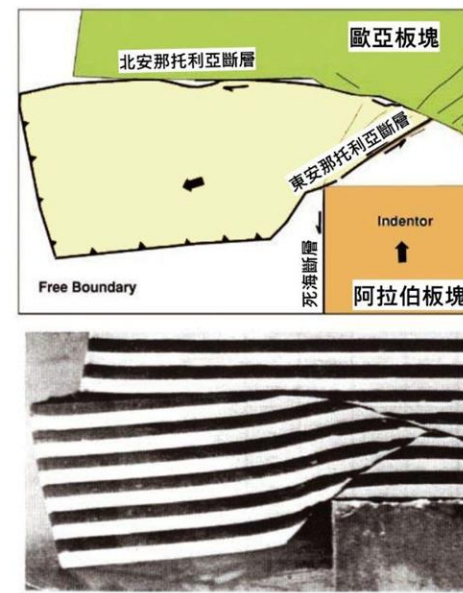
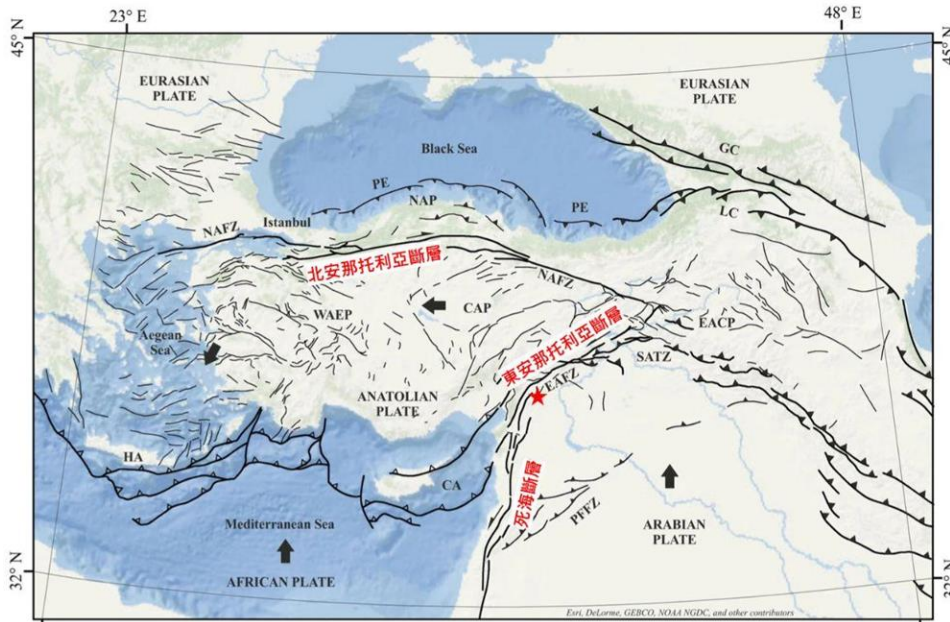


來源: <https://twitter.com/SimoneAtzori73/status/1622525907100438529>

地質背景、構造

本次Mw 7.8主震震央位於東納那托利亞斷層南方，為東安納托利亞斷層系統(EAF)破裂所造成。東安納托利亞斷層為土耳其安納托利亞地塊的東南界，與南方的阿拉伯板塊相鄰。受阿拉伯板塊向北運動與歐亞板塊間的碰撞造山運動影響，位於碰撞帶西側的安納托利亞陸塊向西逆時針擠出旋轉，形成土耳其地區的主要活動構造框架。

北安那托利亞斷層(NAF)與東安那托利亞斷層(EAF)兩條主要的板塊邊界轉型斷層帶，與位於地中海北側的擠壓碰撞帶同為土耳其的主要活動構造帶。位於地塊北邊的北安那托利亞斷層為右移轉型斷層，以每年約2公分的平均速度活動。位於地塊東南側的**東安那托利亞斷層則為左移轉型斷層**，以每年約1公分的平均速度活動，其往西南方則與阿拉伯板塊與非洲板塊間的死海轉型斷層相接。東安納托利亞斷層北側亦伸展出數條次平行的左移活動斷層分支，其中一條即為本次後續Mw 7.5地震發生的Sürgü-Çartak Fault。不論是從歷史紀錄與地震儀器紀錄來看，這些板塊邊界斷層沿線皆發生多次規模七以上的災害型地震。

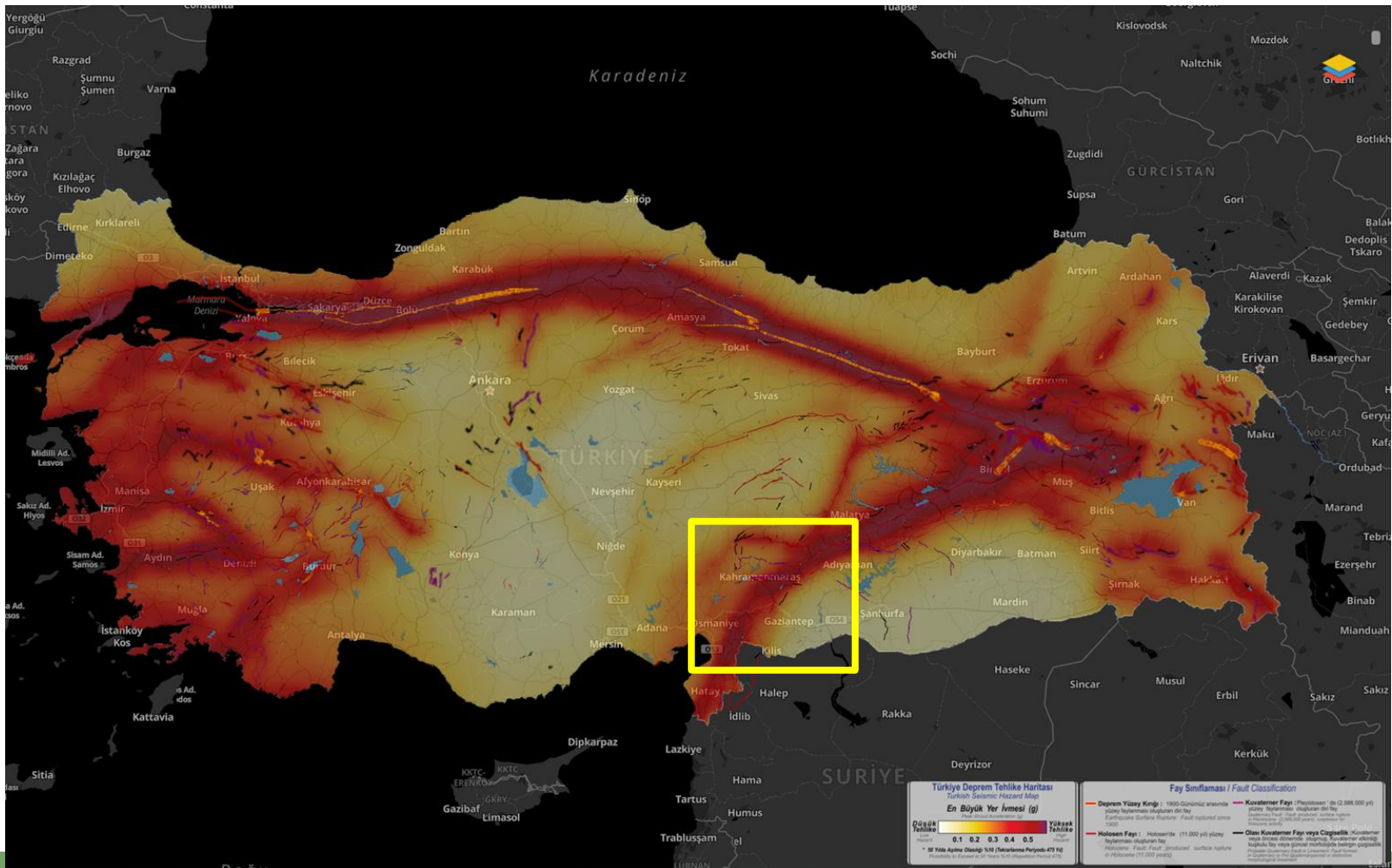


安那托利亞地塊板塊逃脫模型(上圖)與黏土碰撞模型的比較(下圖)，顯示土耳其地區的主要構造發育受控於板塊擠壓與逃脫作用 (Hubert-Ferrari et al., 2003)

土耳其主要活動構造圖，黑色箭頭表示板塊運動方向，星星表示本次地震的概略震央位置 (Source: Cemal Göncüoğlu 2019)

土耳其的地震災害潛勢分布

下圖為根據土耳其地區過往地震的分布，以及活動斷層、古地震的研究而得到的地震災害潛勢圖(越紅表示潛勢越高)，圖中可見土耳其的地震災害潛勢主要受到活動構造的分布影響，而本次地震序列的受災區域亦為地震災害的高潛勢區(黃色方框處)。



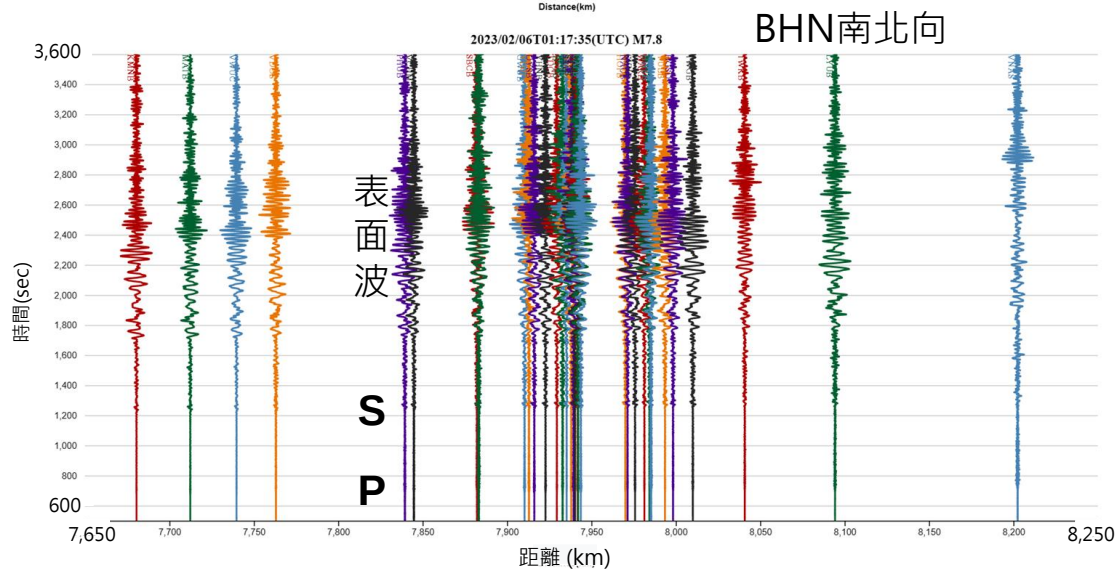
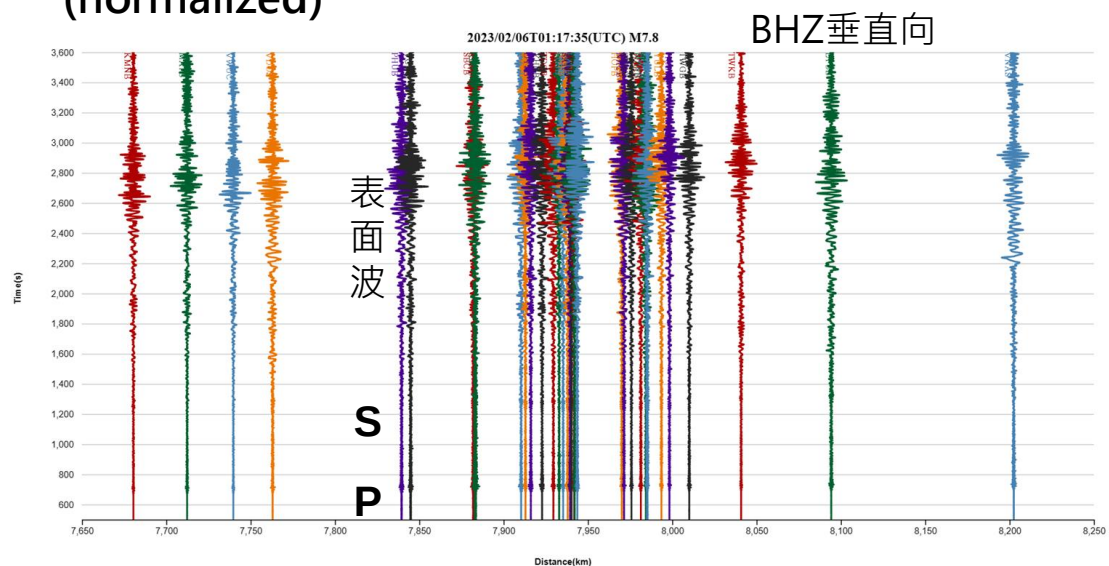
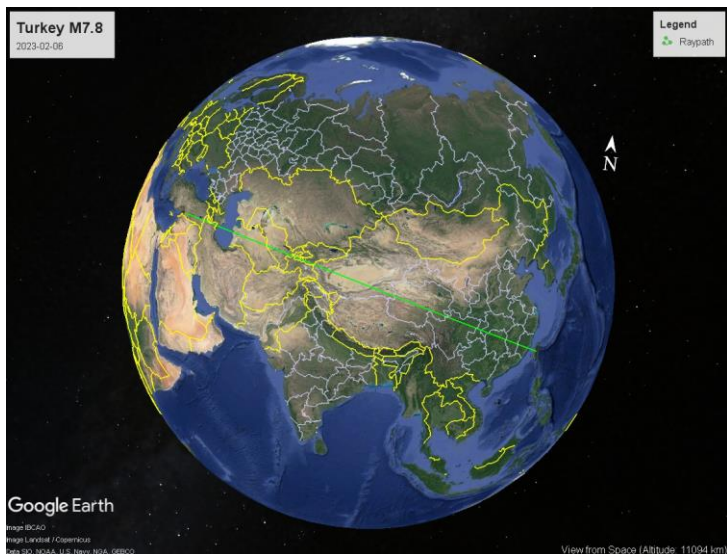
圖片來源：土耳其地震局(AFAD)



台灣寬頻地震網偵測到的波形紀錄

BATS / BHZ, BHN
(normalized)

2023-02-06 01:17:35 M7.8

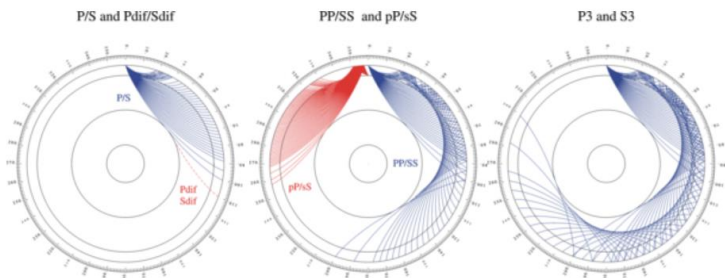
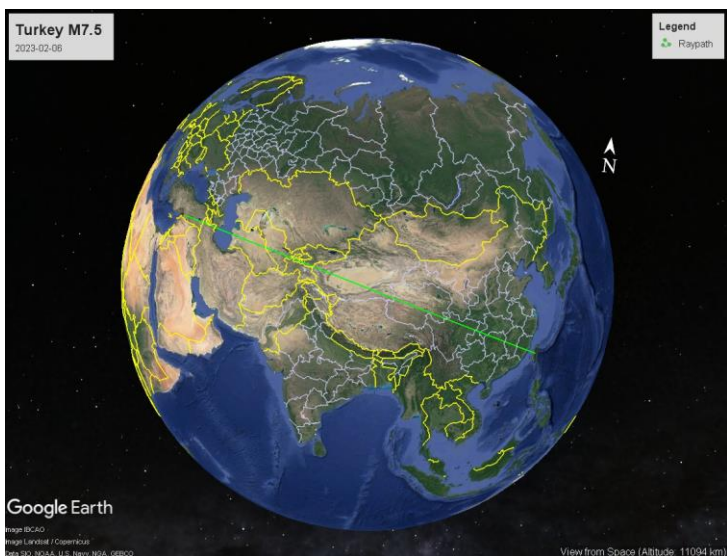


來源：<https://gdmsn.cwb.gov.tw>

台灣寬頻地震網偵測到的波形紀錄

BATS / BHZ, BHN
(normalized)

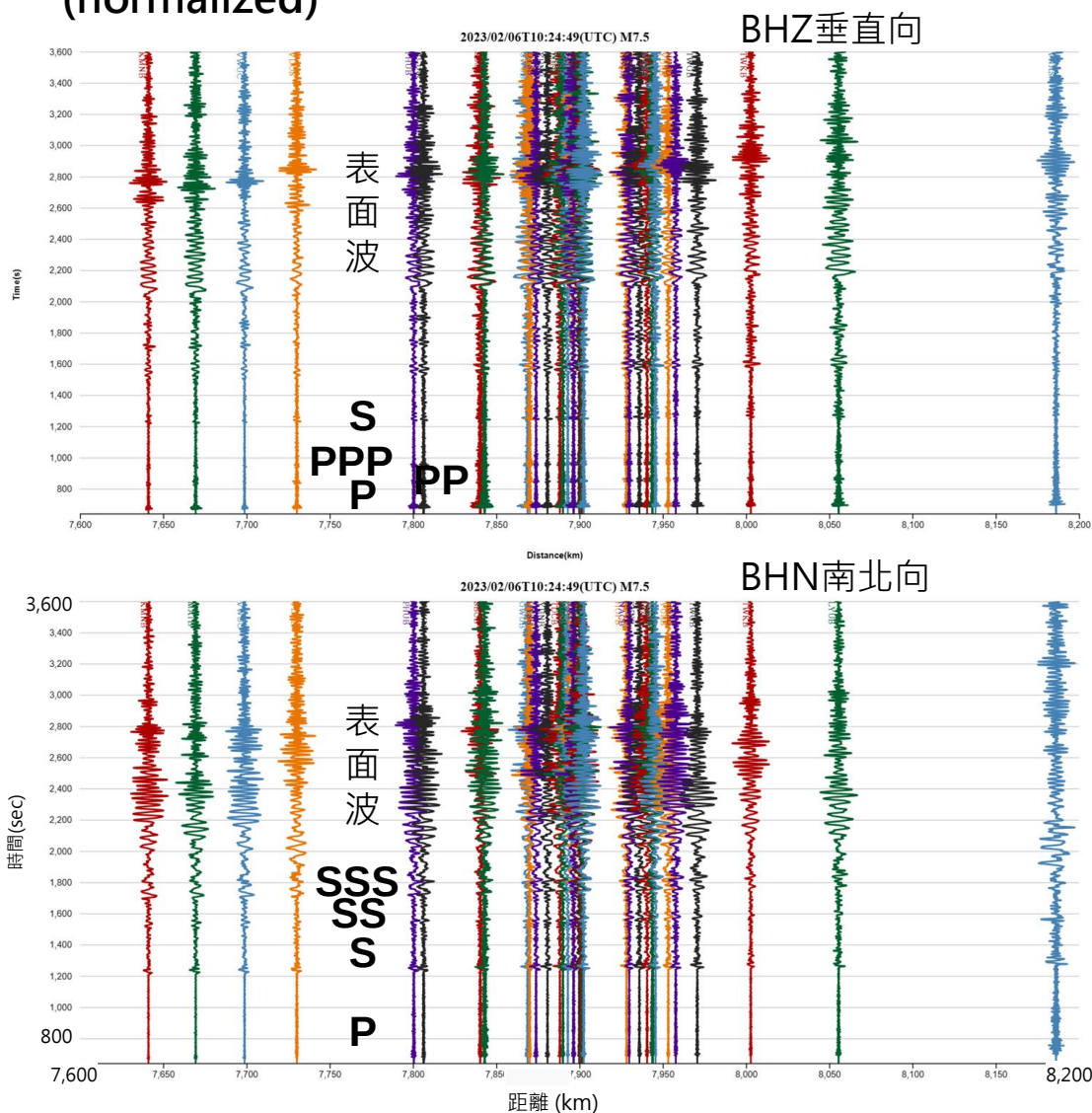
2023-02-06 10:24:49 M7.5



<http://www.isc.ac.uk/standards/phases/>



來源：<https://gdmsn.cwb.gov.tw>



新聞、災害照片

土耳其及敘利亞邊境M7.8地震斷層破裂長度超過一百公里，強烈地震動嚴重損害斷層附近大量耐震度不良的結構物，造成兩國上萬人員傷亡，震後短期內生還者搜救工作更顯重要。



▲敘利亞搜救隊六日凌晨在土敘邊界伊德利卜省 (Idlib province) 坍塌建物裡找尋生還者

<https://edition.cnn.com/2023/02/05/europe/earthquake-hits-turkey-intl-hnk/index.html>

►土耳其南部 Iskenderun 建物地震前後差異

<https://www.bbc.com/news/science-environment-64540696>

Collapsed building in Iskenderun

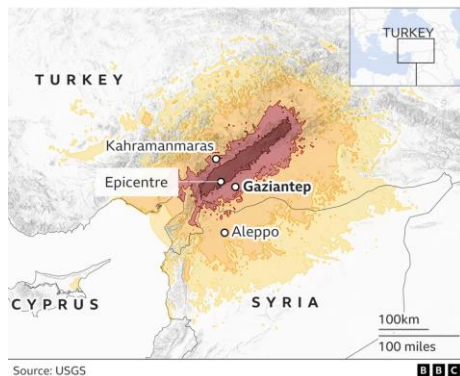


Source: Google, Getty



Areas affected by earthquake, 04:17 local time
Areas exposed to shaking which is:

■ Severe ■ Very strong ■ Strong ■ Moderate



▲(上圖)震央位置 (下圖)震度分布

<https://www.bbc.com/news/science-environment-64540696>



▲位於土耳其震央附近名列世界遺產暫定名單的千年古蹟「加濟安泰普城堡」(Gaziantep Castle)毀損嚴重

<https://vocus.cc/article/63e0e632fd89780001518ab5>



▲土耳其南部哈塔伊(Hatay)震後大量建物嚴重受損

Photo: Ercin Erturk/Anadolu Agency via Getty Images

<https://nymag.com/intelligencer/2023/02/southern-turkey-struck-by-7-8-magnitude-earthquake-updates.html>

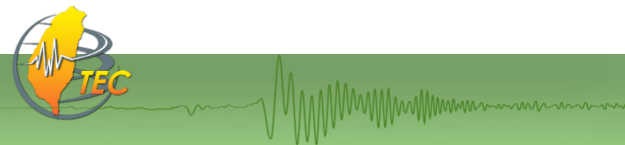
推薦新聞報導

- Everything we know about the deadly earthquakes in Turkey and Syria, **TIME**, 2023-02-06, <https://time.com/6253208/turkey-earthquake-syria-updates/>
- More than 4,300 dead in Turkey and Syria after powerful quake, **CNN**, 2023-02-06, <https://edition.cnn.com/2023/02/05/europe/earthquake-hits-turkey-intl-hnk/index.html>
- Turkey earthquake: Where did it hit and why was it so deadly? **BBC**, 2023-02-06, <https://www.bbc.com/news/science-environment-64540696>
- Turkey experiences largest earthquake in 84 years, **Moody's**, 2023-02-06, <https://www.rms.com/blog/2023/02/06/turkey-experiences-largest-earthquake-in-84-years>
- 暴風雪中的世紀強震・報導者(The Reporter)・2023-02-07・<https://www.facebook.com/twreporter/posts/3411017729146075>
- 土耳其世紀強震：死亡數恐破萬・暴雪冰封難救人・敘利亞內戰拖住國際馳援・報導者(The Reporter)・2023-02-07・https://www.twreporter.org/a/20230206-turkey-earthquake-disaster-scene-and-analysis?utm_source=facebook&utm_medium=fanpage&utm_campaign=fbpost



參考文獻

- Ansari, K., Corumluoglu, O., & Sharma, S. K. (2017). Numerical Simulation of Crustal Strain in Turkey from Continuous GNSS Measurements in the Interval 2009–2017. *Journal of Geodetic Science*, 7(1), 113–129. <https://doi.org/10.1515/jogs-2017-0013>
- Göncüoğlu, M. C. (2019). A Review of the Geology and Geodynamic Evolution of Tectonic Terranes in Turkey. In: Pirajno, F., Ünlü, T., Dönmez, C., Şahin, M. (Eds.), *Mineral Resources of Turkey, Modern Approaches in Solid Earth Sciences*, Vol. 16, Springer, Cham, 19–72. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02950-0_2
- Hubert-Ferrari, A., King, G., Manighetti, I., Armijo, R., Meyer, B., & Tapponnier, P. (2003). Long-term elasticity in the continental lithosphere; modelling the Aden Ridge propagation and the Anatolian extrusion process. *Geophysical Journal International*, 153(1), 111–132. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246x.2003.01872.x>



更多的TEC資源等你來用

- 我想知道更多地震

https://tec.earth.sinica.edu.tw/specialEQ_list.php

- TEC 近期活動

https://tec.earth.sinica.edu.tw/news_list.php?id=2

- 台灣地震科學中心(TEC) 主頁

<https://tec.earth.sinica.edu.tw/>

