

2-1. 地震と震源近傍の地震動、および、 地表地震断層と建物被害

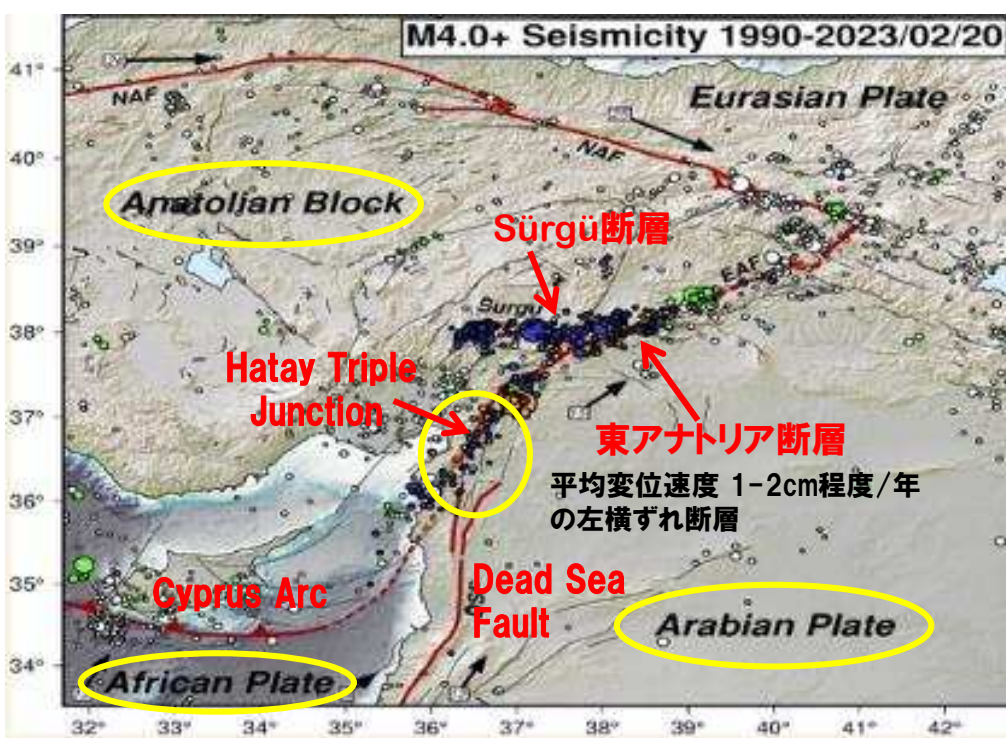
トルコ・シリア地震災害調査 速報会
(東京大学地震研究所)
2023年4月29日

○久田嘉章(工学院大学)、倉田真宏(京都大学)、
Cem YENIDOGAN (Yildiz Tech. U), 福井弘久(防災科研)、
小林裕明(梓設計)、長江拓也(名古屋大学)

謝辞: 本被害調査は文部科学省・科学研究費助成事業(特別研究促進費)による助成を頂きました。またトルコではİlki教授(ITU)、Gamze Ozmertyurt氏, Sehat Ulubay氏, Seckin Muteahit氏、TISのUgurcan氏をはじめ多くの方のご協力を頂きました。またAFADが公開した強震記録を使用し、司博士(東京大)より距離減衰式におけるVs30による振幅補正に関する助言を頂きました。

1

トルコ南部地震(2023 Turkey-Syria earthquake, The Mw7.8 and Mw7.5 Kahramanmaras Earthquake: USGS) (2023/6/2/01:17 Mw7.7, 2023/6/2/10:24 Mw7.6 by AFAD)

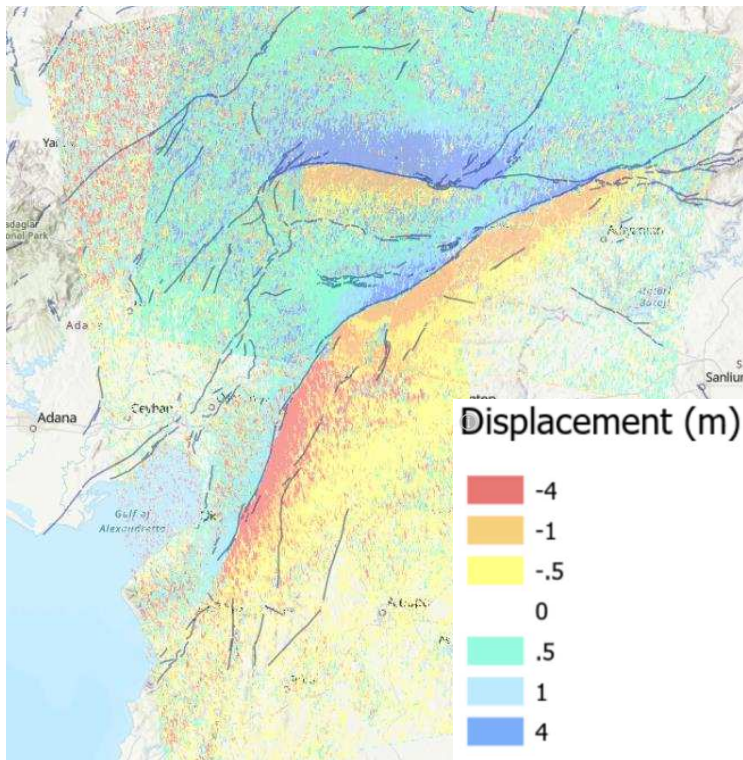


・2023年2月6日4時17分(現地時間)にトルコのガズィアンテプ県とカフラマンラシュ県の境界付近を震央とする地震(Mw7.8)、同日13時24分にカフラマンラシュ県のエルビスタン地区で2回目の後発地震(Mw7.6)が発生。死者約5万8千名、負傷者12万人以上。

USGS: The 2023 Kahramanmaraş, Turkey, Earthquake Sequence

2

活断層に沿った地殻変動と地表地震断層



Crustal Deformation (USGS)

<https://earthquake.usgs.gov/storymap/index-turkey2023.html>



Offset railway in Narli

<https://riskfrontiers.com/insights/turkey-earthquakes-cause-surface-faulting-2023/>

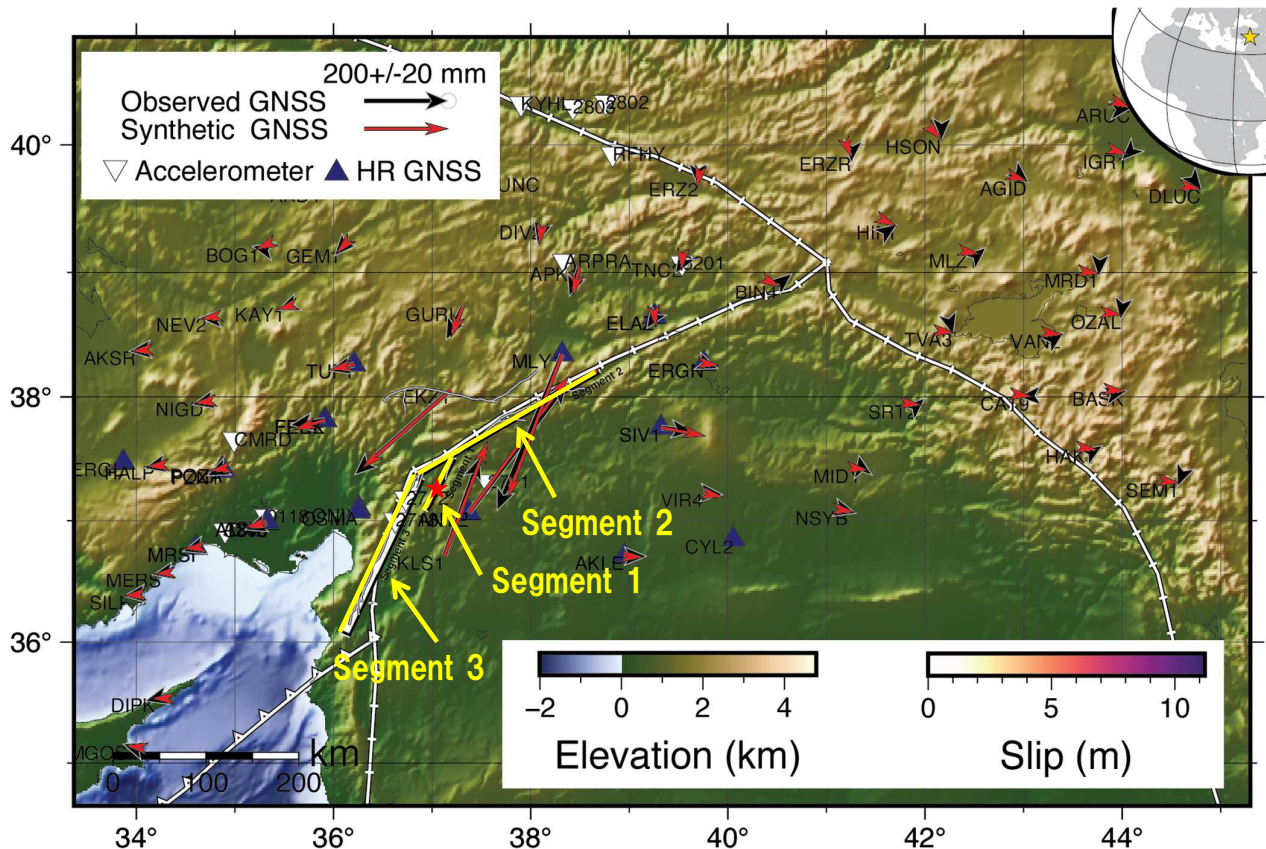


Surface rupture at Hassa

https://twitter.com/geodesist_a/status/1623362850126266368?ref_src=twsrc%5Etfw%7Ctwcamp%5Etweetembed%7Cterm%5E1623362850126266368%7Ctwtgr%5EE6e2129be7339744645409215958a078022bf1941%7Ctwtcon%5Es1_&ref_url=https%3A%2F%2Fwww.bbc.com%2Fnews%2Fscience-environment-64603521

3

断層震源モデル(Mw7.8)と地殻変動(USGS)



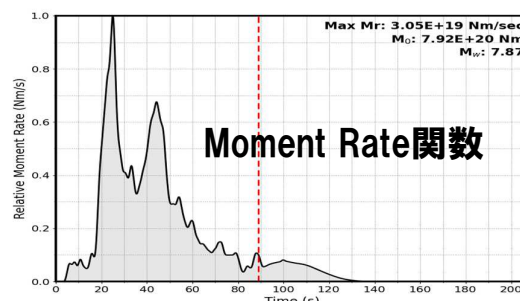
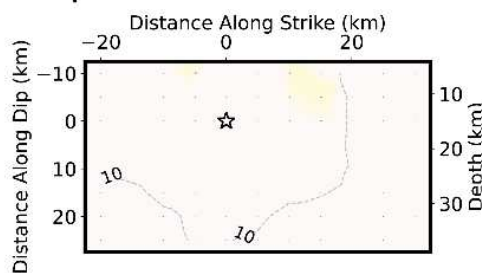
断層震源モデルの地表投影図と衛星測位システムと計算による変位成分

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000jllz/finite-fault>

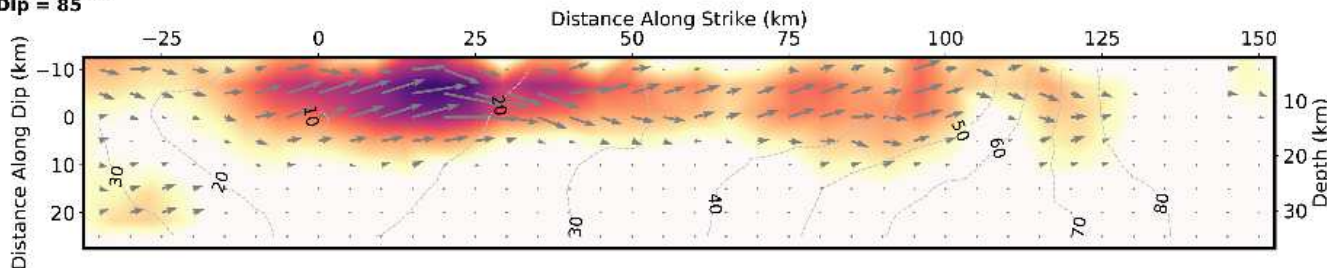
4

Mw7.8地震 断層震源 モデル (USGS)

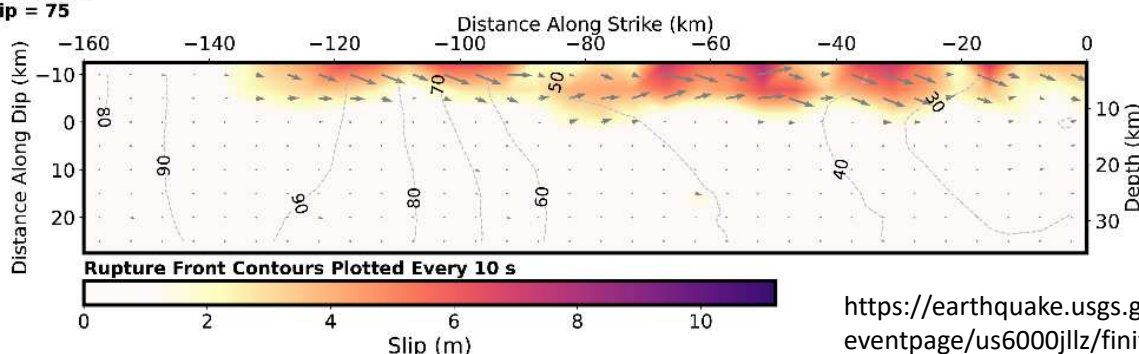
Segment 1
Strike = 28
Dip = 85



Segment 2
Strike = 60
Dip = 85



Segment 3
Strike = 25
Dip = 75

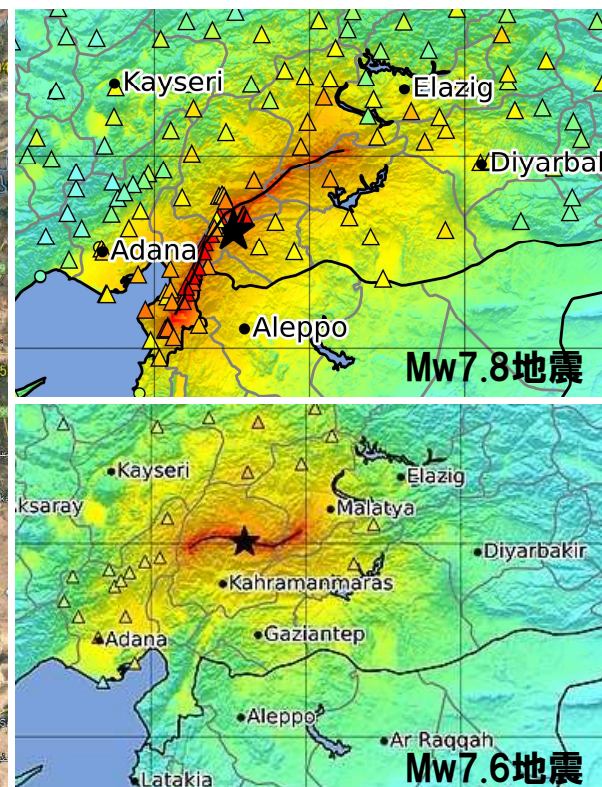
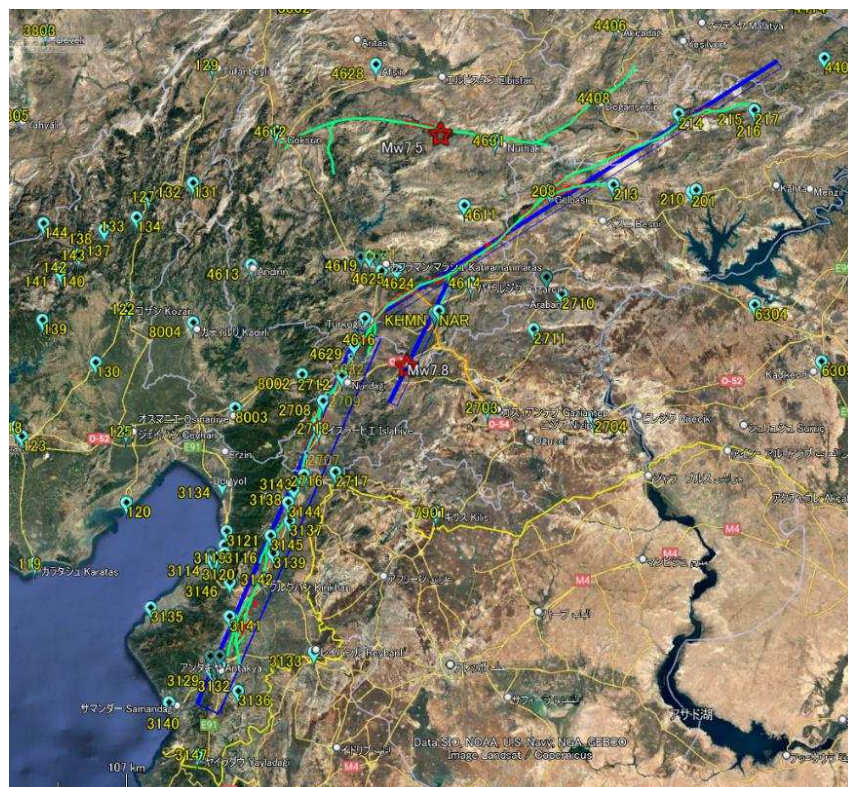


左横ずれと複雑な逆/正断層

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000jllz/finite-fault>

5

震源域の強震観測とMMI震度分布(USGS)



震源域の強震観測点
(トルコ防災危機管理庁; AFAD)

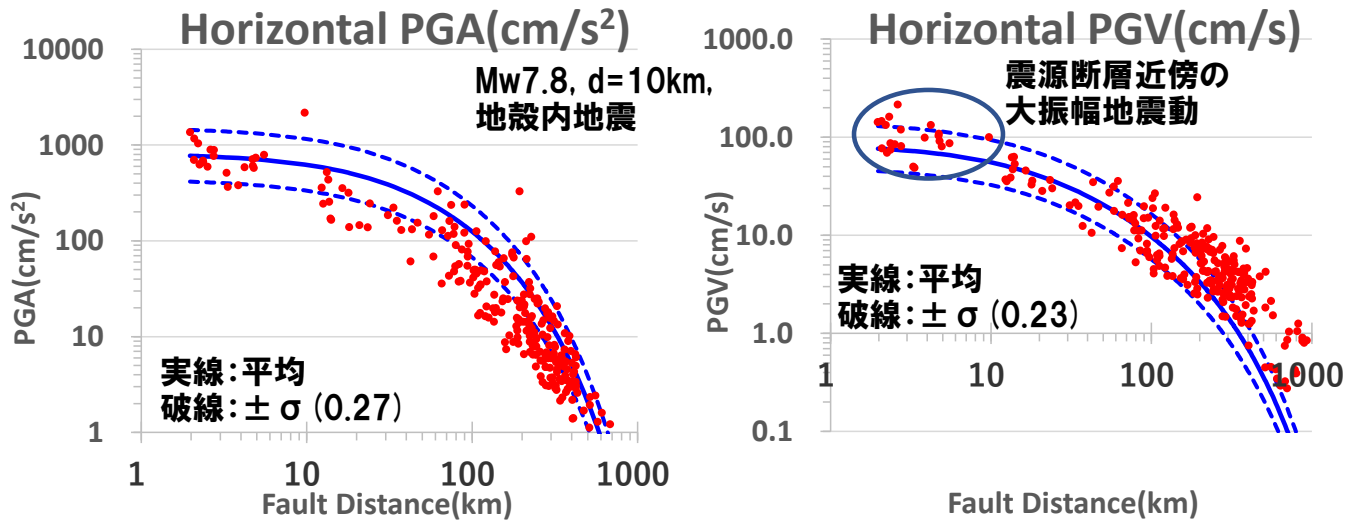
<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000jllz/executive>

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(%)	<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	X+

Scale based on Worden et al. (2012)
 △ Seismic Instrument ○ Reported Intensity ★ Epicenter □ Rupture

6

地震動予測式(距離減衰式)と 強震観測記録との比較(PGA, PGV)

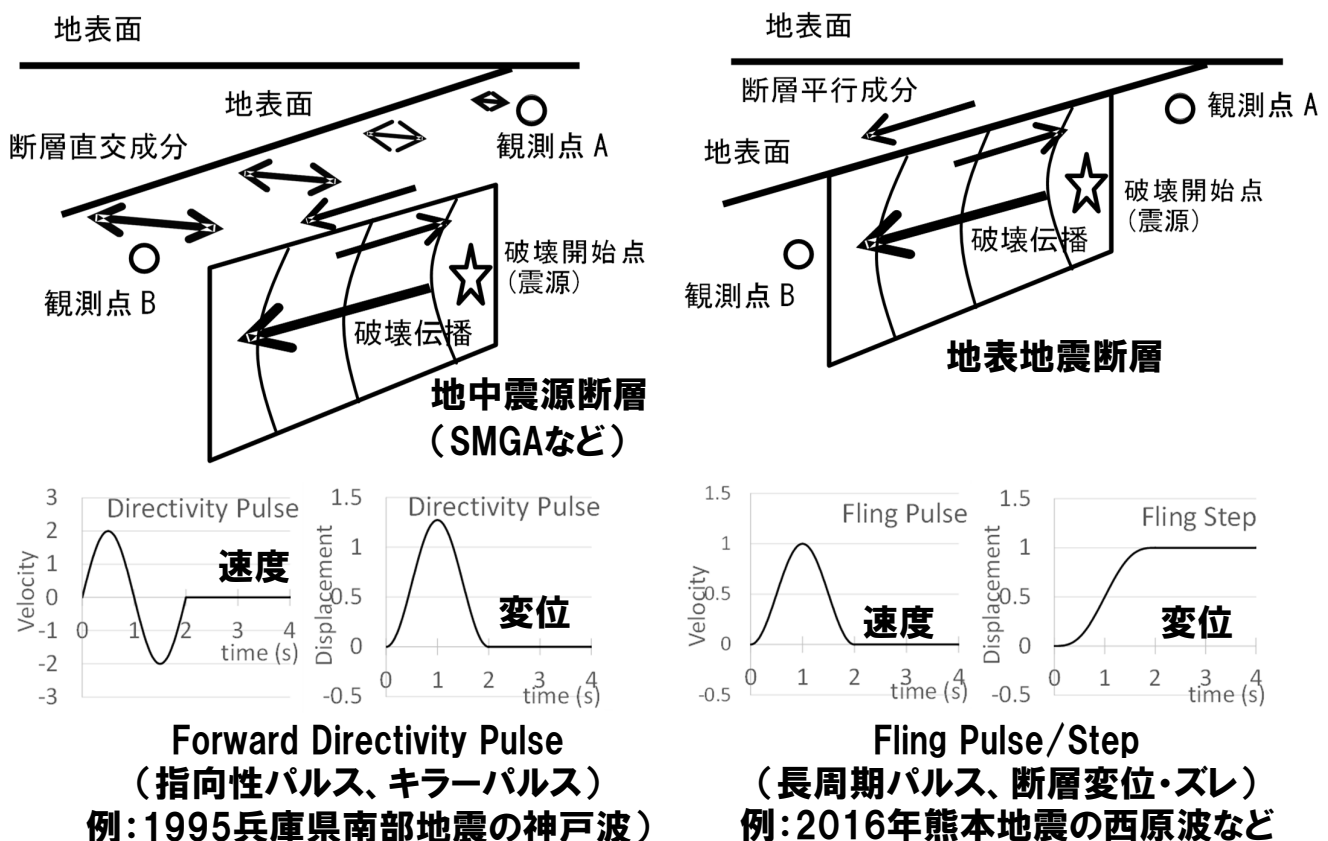


司・翠川式(1999:青)と強震観測記録(赤)のPGA(左)とPGV(右)の比較

- ・ 強震観測記録のPGA、PGVはEMS DataBase (<https://esm-db.eu/>)のフィルター処理波形のリストを使用。Vs30の値と主要動が観測されていない記録を除外し、さらにリストにない震源近傍の3点(TK: 3125、3126、3129)は0.1-10Hzのバンドパスフィルターを用いて追加した263波形を使用した。
- ・ 司・翠川式: PGAは地盤指定はないが、PGVはVs=600m/s相当の地盤であるため、観測記録にはVs30による振幅補正を行った。

7

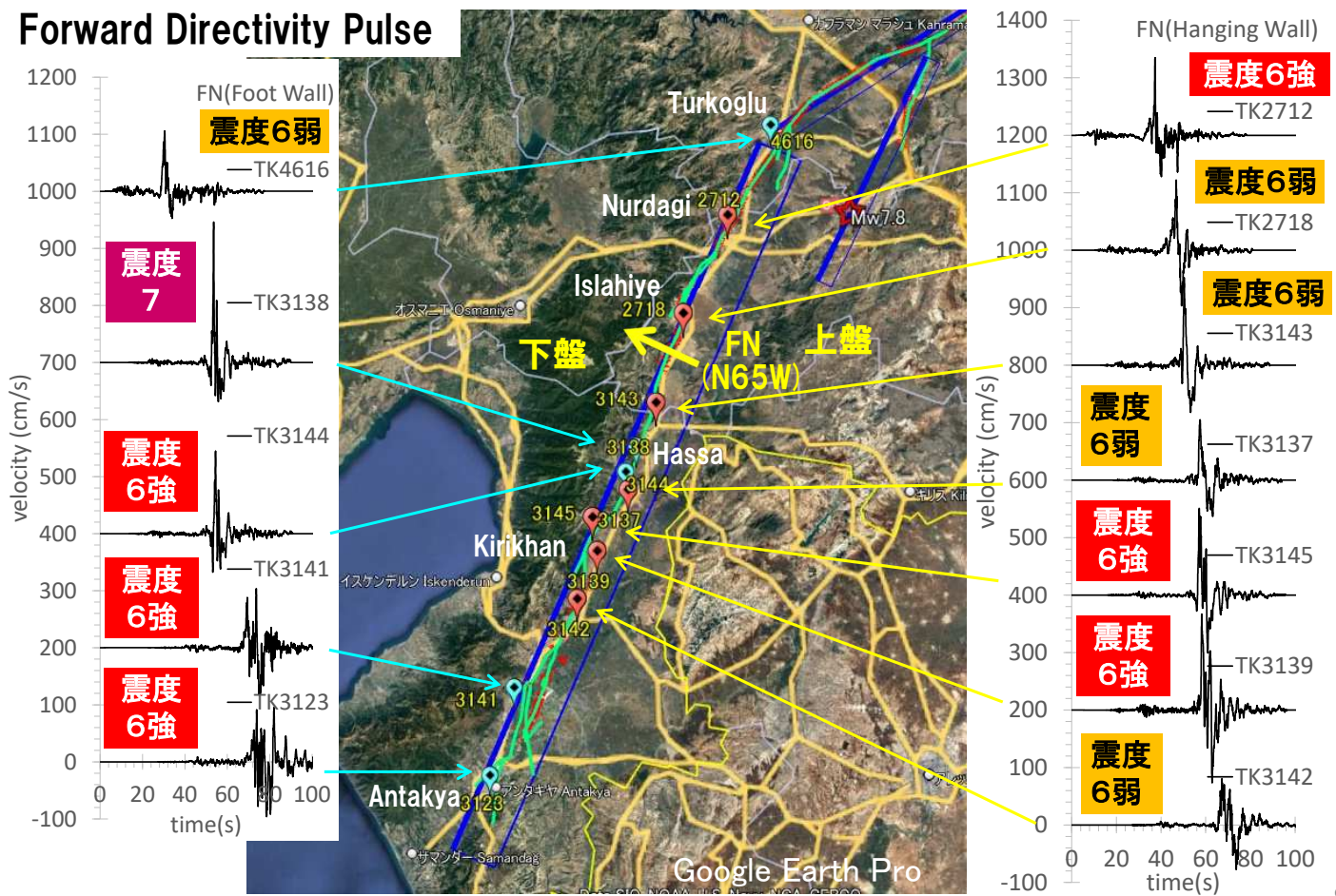
横ずれ断層と近傍の大振幅地震動 (Forward Directivity Pulse, Fling Pulse/Step)



8

活断層近傍の強震動(速度波形:断層直交成分)

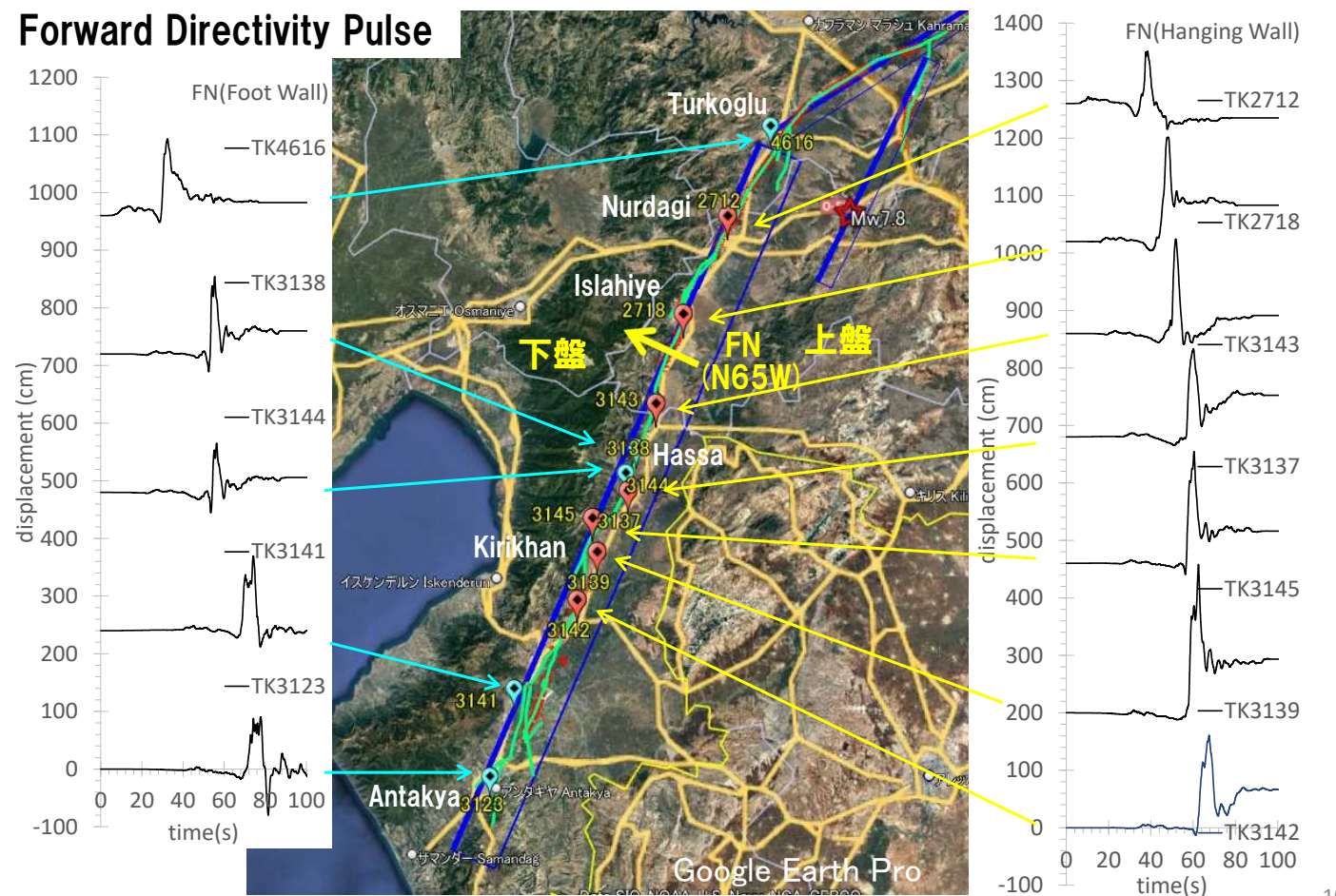
Forward Directivity Pulse



9

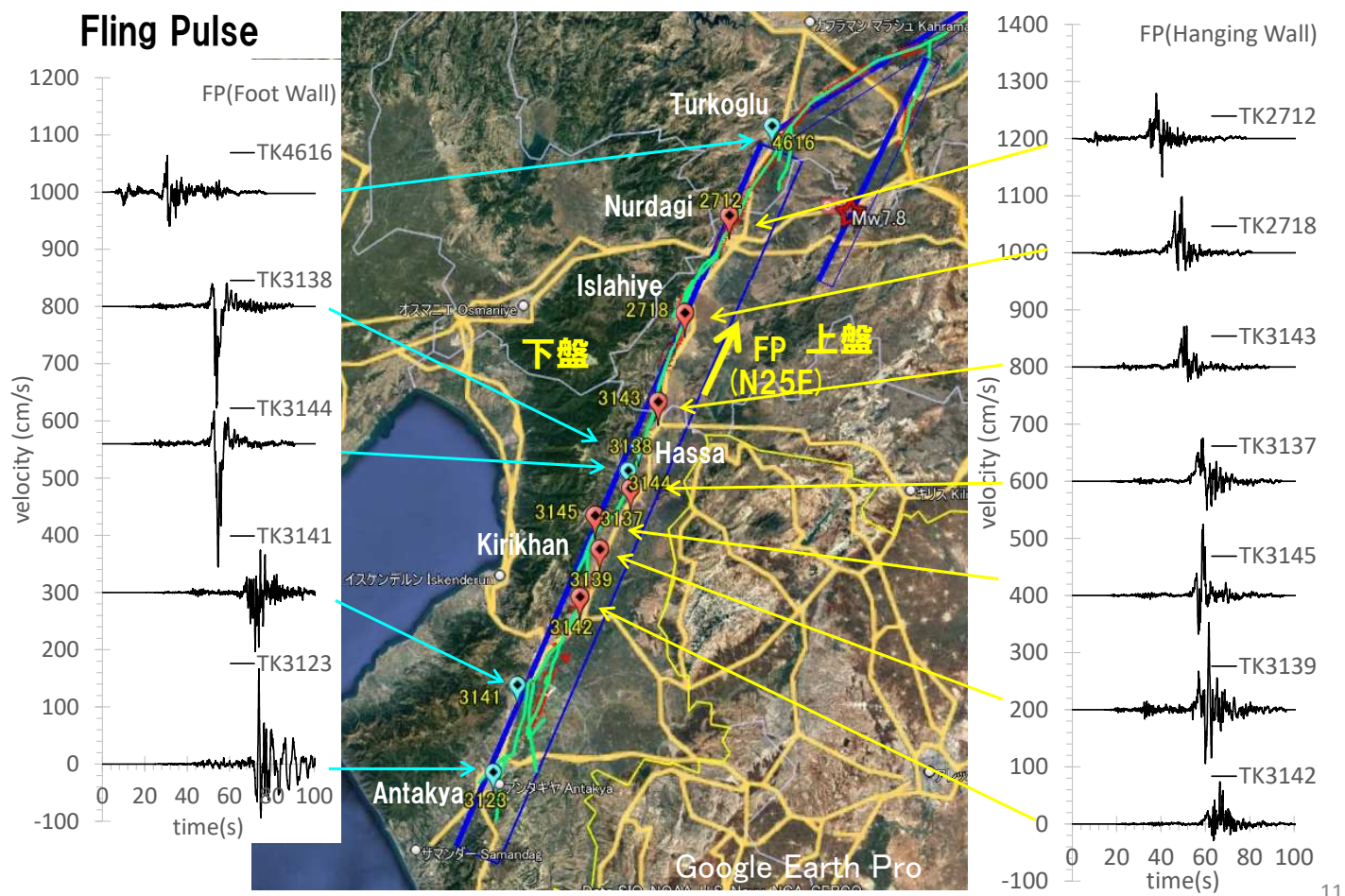
活断層近傍の強震動(変位波形:断層直交成分)

Forward Directivity Pulse

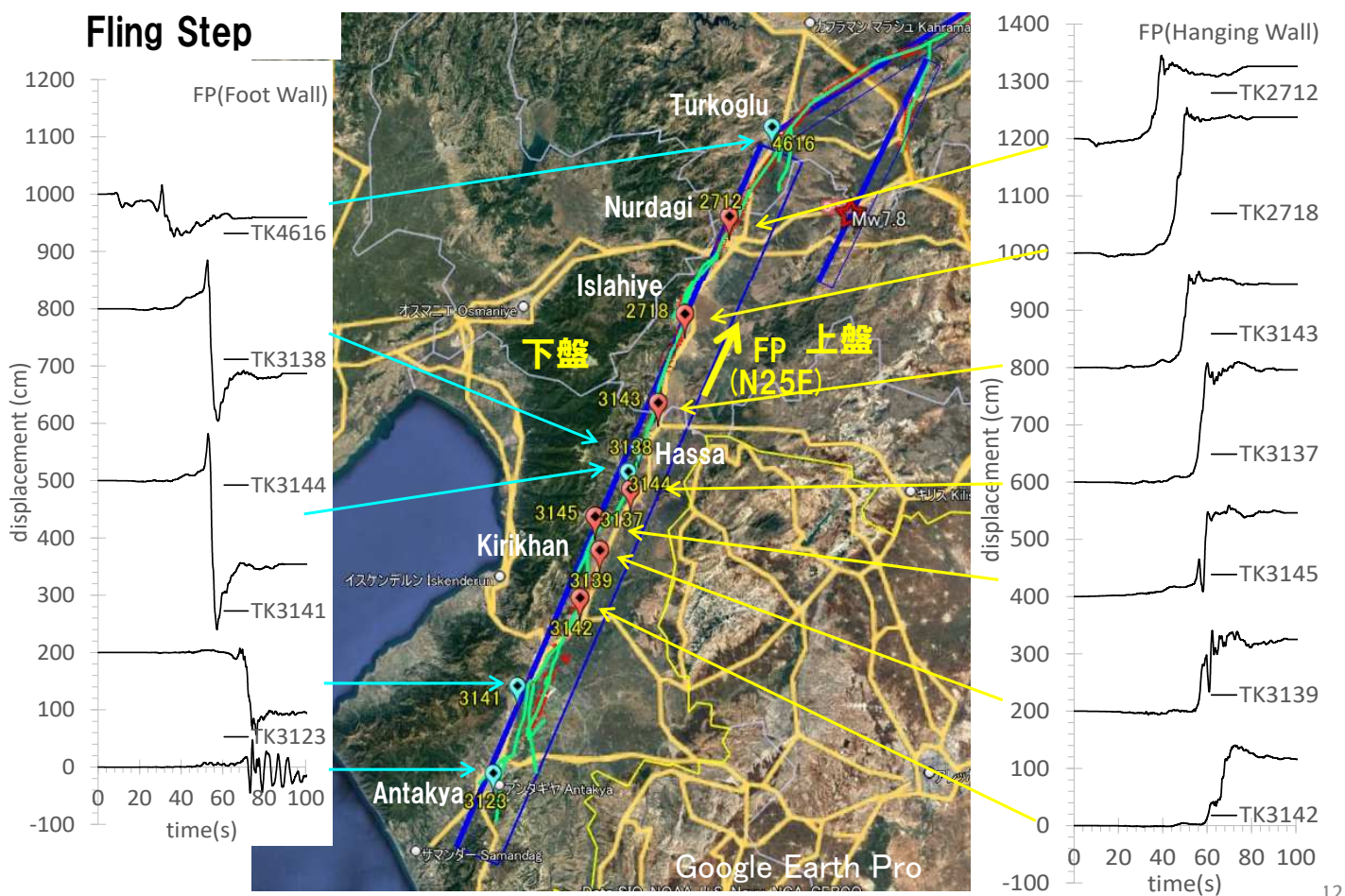


10

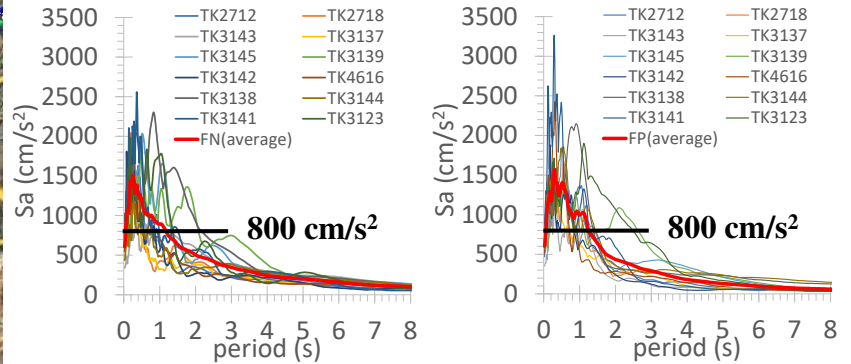
活断層近傍の強震動(速度波形:断層平行成分)



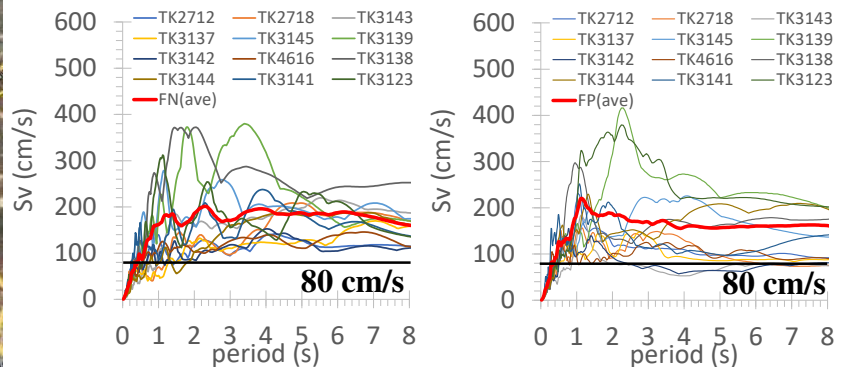
活断層近傍の強震動(変位波形:断層平行成分)



活震源近傍の強震動(応答スペクトル: $h=5\%$)



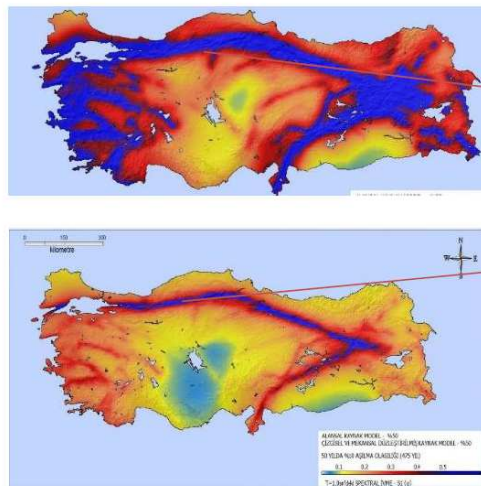
加速度応答(左:断層直交成分、右:平行成分)



速度応答(左:断層直交成分、右:平行成分)

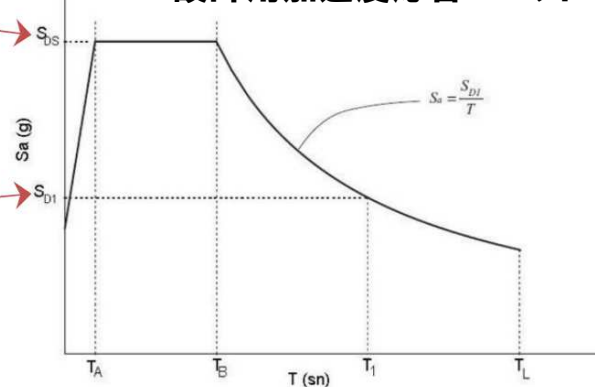
13

活断層断層近傍の強震動特性を考慮した設計用入力地震と耐震性能設計(2018年基準)



Contour maps for $T=0.2$ s and 1.0 s (S_0 and S_1 , 475 years)

設計用加速度応答スペクトル



L3地震動相当

475-year design spectrum (5% damping)

L2地震動相当

Construction of the 475-year design spectrum from the 2018 Seismic Hazard Map.

DD-1 (maximum expected earthquake ground motion level): 超過確率 (2% 50年: 2475年)

DD-2 (standard design earthquake ground motion level): 超過確率 (10% 50年: 475年)

DD-3 (frequently expected earthquake ground motion level): 超過確率 (50% 50年: 72年)

DD-4 (service level earthquake ground motion): 超過確率 (50% 30年: 43年) L1地震動相当

14

Sekeroba: 地表地震断層ごく近傍の建物被害



断層と地表地震断層の位置データはUSGSより

<https://usgs.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=5229bb842bd64b688d769abbefe43b46>

15

地表地震断層直上の建物被害調査（Sekeroba）



2階建RC造: 1階倒壊・火災発生



平屋RC造: 大きく変形(全壊)



2階建RC造: 1階躯体の変形(全壊)



2階建RC造: 基礎・壁の高い剛性で小変形(半壊)

おわりに

・活断層近傍の強震動：

- ・内陸最大級の活断層帯地震(Mw7.8)であり、左横ずれと上下変位を伴う大規模な地表地震断層が出現。
- ・その近傍で多くの貴重な強震記録を観測。既往の地震動予測式を凌駕し、震度6強以上となる大振幅地震動(指向性パルス、フリングステップ・パルス)を確認。

・地表地震断層のごく近傍の建物調査：

- ・無筋の基礎・壁など剛性と耐震性の低い建物は断層変位により大きく変形し、多数が倒壊・崩壊した。
- ・一方、べた基礎や壁が残るなど耐震性・剛性の高い建物は断層直上でも甚大な被害を逃れ、地表断層から外れると被害が大きく低減した。
- ・上記結果は既往(熊本地震など)の調査結果とも整合