

2023年トルコ南部の地震と災害に関する総合調査の概要

—科学研究費補助金・特別研究促進費による突発災害調査研究令和4年度報告—

楠 浩一*・青木 陽介*・加藤 愛太郎*・山中 浩明**・
後藤 浩之***・阪本 真由美****

* 東京大学 地震研究所

** 東京工業大学 環境・社会理工学院

*** 京都大学 防災研究所

**** 兵庫県立大学 大学院減災復興政策研究科

要 旨

2023年2月6日にトルコ南部の東アナトリア断層沿いで発生した一連の地震により、56,000人以上の犠牲者が発生した。また、構造物にも多大な被害が生じた。この災害を受けて、文部科学省科学研究費補助事業（特別研究推進費）の「2023年トルコ南部の地震と災害に関する総合調査」が開始された。この総合調査では、「テーマ1. 衛星測地等による地殻変動と災害把握」、「テーマ2. 地震発生機構の解明」、「テーマ3. 強震観測による災害発生機構の調査」、「テーマ4. 災害調査による構造物被害の解明」、「テーマ5. 大規模広域地震災害マネジメントとリスクコミュニケーションの解明」に取り組み、陸域で巨大な地震が発生した理由と、激甚な構造物被害や人的被害となった原因を解明する。本報では本調査のこれまでの成果を概説する。

1. はじめに

2023年2月6日にトルコ南部で、マグニチュード7.8の被害地震が発生した。その約9時間後に、隣接する断層においてマグニチュード7.5の地震が続発した。これらは陸域で発生した世界最大クラスの地震であり、56,000人以上の尊い人命が失われ、極めて広域で建物が倒壊し、甚大な地震災害を引き起こした。

この地震は、地震規模と被害規模の観点から、活断層、地震活動、地震災害、構造物被害、社会防災を包括する国際的に稀有な自然災害の研究対象となり、その地震および災害メカニズムを解明することは、トルコおよび世界の地震防災・減災に資するとともに、わが国の同等あるいはそれ以上の規模の巨大地震や地震災害について、重要な科学的・工学的な知見を与える。そこで、文部科学省科学研究費補助事業（特別研究推進費）「2023年トルコ南部の地震と災害に関する総合調査」が開始された。

本総合調査ではトルコ南部の地震と災害に関する学術研究を行い、陸域で巨大な地震が発生した理由と、激甚な構造物被害や人的被害となった原因を解明し、さらにその成果を国際的に発信することを目

としている。

本総合調査では、以下の5つのテーマに取り組み、トルコ南部の地震と災害に関する学術研究を行う。「テーマ1. 衛星測地等による地殻変動と災害把握」「テーマ2. 地震発生機構の解明」「テーマ3. 強震観測による災害発生機構の調査」「テーマ4. 災害調査による構造物被害の解明」「テーマ5. 大規模広域地震災害マネジメントとリスクコミュニケーションの解明」

本報では、各テーマでこれまで得られた成果を概説する。

2. 衛星測地等による地殻変動と災害把握

2.1 合成開口レーダー衛星による地殻変動解析

本研究では、ALOS-2およびSentinel-1衛星から撮像されたSAR画像データを用いて地殻変動を抽出した。本解析では、地殻変動の計測には、標準的なSAR干渉処理に加えて、Split-Bandwidth Interferometry, Burst-Overlap Interferometry, Offset Trackingと呼ばれる応用技術も適用した(Xu et al., 2023)。これにより、断層近傍の大規模変位の計測や南北方向の変動の計

測が可能となった。最終的に4方向の変位が計測され、これらを統合的に解析することにより、3成分(東西, 南北, 上下)の変動を計測することに成功した(図-1)。

解析の結果、地殻変動は水平成分が卓越し、大きな上下変動は発生していないことが分かった。東アナトリア断層の西部は、南側及び北側に断層帯が分岐しているが、Mw 7.7及びMw 7.6の地震に伴う地殻変動はそれぞれ、南側及び北側の分岐断層帯に沿って分布していた。南側の分岐断層沿いには、断層運動に相当するとみられる変位の不連続が約350 kmの長さにわたり確認できた。不連続は、震源付近から東では走向約N60°Eの方向に伸びる一方、西側ではTürkoğlu付近でその走向を南西方向に変えてAntakya付近で終了していた。この分岐断層帯は幾つかの断層セグメントで構成されていることが知られているが、変位不連続の位置から、Erkenekセグメント、Pazarcıkセグメント、Amanosセグメントが破壊されたと推察される。これらセグメントの全てで最大5 mの左横ずれの水平変位が卓越している。一方、Mw 7.6の地震を引き起こしたと推定される北側の分岐断層帯では東西約150kmにわたり変位の不連続が確認でき、最大6 mの左横ずれ運動を示す。この変位不連続は、主にÇardakセグメントに沿ってほぼ一直線に見られるが、東端及び西端でその走向を変えている。

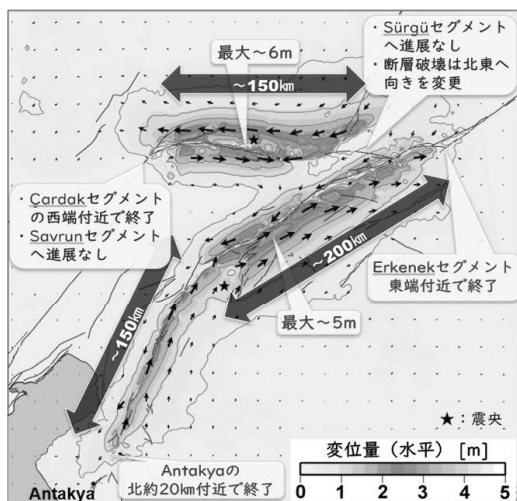


図-1 SARIにより捉えられた地殻変動分布図(水平成分). 等値線は0.5m間隔. 青線は活断層を示す(Emre et al., 2013)

2.2 地震により発生した斜面災害

Istanbul Technical UniversityのGörüm博士率いる研究グループは、雪解け後の高解像度衛星画像や航空写真を用いた解析および現地調査を行った結果、3600箇所以上で地すべりや斜面崩壊、落石等の斜面災害(図-2)が発生したことが判明した(Görüm et al.,

2023)。また、これらの斜面災害は被災地の北部に集中していることが分かった。本研究グループでは、Görüm博士の協力のもとで、2023年6月12日から21日の間にこれらの斜面災害に対する現地調査を実施した。

調査した内容についての詳細な分析は進行中であるが、発生した斜面災害は以下の五つに大別される：(1)落石：最も多く観察された、(2)緩い層理面に沿った岩盤の並進すべり、(3)大規模な岩盤崩壊およびそれによって形成された天然ダム、(4)再活動した大規模地すべり、(5)大規模地すべり地源頭部の上部斜面で広範に渡って発生したクラックや地盤沈下。

さらに、二つの大規模地すべりの内外において複数台の地震計を設置し、余震の観測を行った。10日間の地震観測期間において、Mw 1.0—4.7の余震を1000個以上記録することができた。これらの余震観測データを用いて、地すべり地の震動特性を調べる予定である。

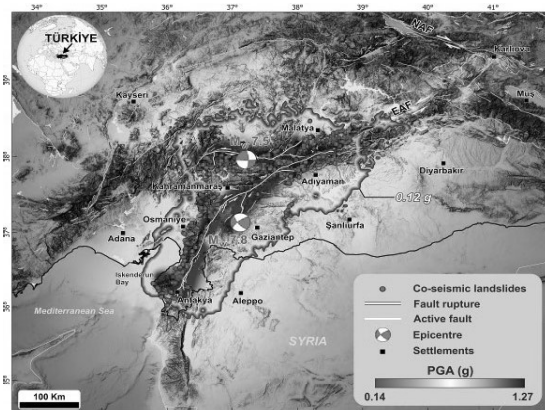


図-2 地震により発生した斜面災害分布図

2.3 建物被害判定 AI モデルの構築と評価

本研究では、ディープニューラルネットワークに基づく建物被害認識を行った(Adriano et al., 2023)。本研究では、世界中から無料で入手できる高解像度の衛星画像を使用して、深層学習畳み込みニューラルネットワーク(CNN)が、画像の各部分を建物や道路を含む7つの土地利用カテゴリを分類するようにトレーニングする。トレーニングされたCNNモデルは、農村地域や人口密集地域などのさまざまな地表環境や石積みや鉄筋コンクリート建物などの建物構造をマッピングできる。MAXARによって公開された災害前後のWorldView-3衛星画像を使用して、提案された方法の基づき7都市で地震により被害を受けた建物を検出した。その結果、本研究の方法が70%以上の精度で大きく損傷した建物や倒壊した建物を特定したことを示している。特にIslahiye市では、倒壊した建物の90%が正確に特定された。さらに、障害物のある道路を75%の精度で識別することもで

きた。この分析から得られた建物被害率の分布は、地震による表面最大加速度（PGA）の分布とも一致している。被害率の高い都市はPGAの大きい地域にある（図3）。

3. 地震発生機構の解明（加藤愛太郎先生）

グローバルな地震観測網で取得された遠地地震波を用いた滑りの時空間発展を推定し、本震Mw7.9と後続地震Mw7.6の震源過程の複雑性を明らかにした。また、トルコ国内で管理・運営されている定常地震観測網で取得された波形データを用いて、本震発生以降の地震活動に関する総合的な研究や、発震機構解の解析による東アナトリア断層帯周辺の応力場の推定、レシーバ関数による異方性構造の解析等を進めている。

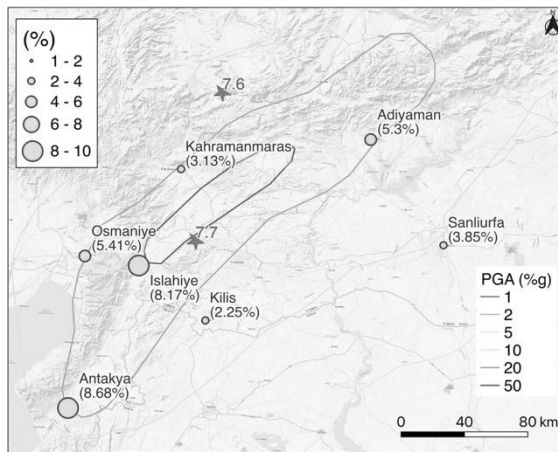


図-3 トルコ・シリア地震後の建物被害率の分布

3.1 2023年トルコ南部の地震の震源過程

本章では、本震と後続地震の震源過程に関する解析結果（Okuwaki et al., 2023）について概説する。

(1) Nurdağı-Pazarcık 地震（Mw7.9）

2023年2月6日 01時17分（UTC）に発生した本震について説明する。破壊領域の長さは350 km 程度であり、破壊継続時間は80秒程度、地震モーメントは、 9.6×10^{20} Nm（Mw 7.9）である。

初期破壊は東アナトリア断層の分岐断層から開始し、破壊開始から10秒間は、分岐断層に沿って北東と南西方向にバイラテラル（両方向）に伝播している。推定された震源メカニズムの節面の一つは分岐断層と破壊伝播方向の走向と一致する。

初期破壊終了から約5秒間の停滞期後、つまり破壊開始15秒後に、東アナトリア断層で主破壊が開始し、約20秒間継続している。主破壊の開始点は、分岐断層との接合点より20 kmほど北東側に位置しており、北東と南西方向にバイラテラルに伝播するが、非対称であり、南西方向の破壊が卓越する。また、南西

側に破壊が伝播する時の破壊伝播速度は震源域のS波速度を有意に超える。初期破壊が主に北東に伝播し、主破壊が主に南西方向に伝播している。つまり逆破壊伝播現象が観測された。この逆破壊伝播現象は、他の地震でも観測されており、破壊が震源から遠ざかる方向に伝播するといった仮定は必ずしも適切ではない。主破壊の破壊伝播は、北東側・南西側ともに断層形状が不連続に変化する領域で減速する。

北東の遅れ破壊は、破壊開始から約35秒後に、主破壊の破壊減速域から北東に約25 kmほど離れた地点から開始し、約10秒間、非対称ではあるがバイラテラルに破壊が伝播している。推定された震源メカニズム解の節面の一つは、東アナトリア断層の走向と一致する。

南西の遅れ破壊は、破壊開始から約45秒後に、開始する。破壊開始点は明瞭ではないが、おおよそ主破壊の南西端付近であると考えられる。破壊は主に南西方向に伝播していき、約30秒間継続する。推定された震源メカニズム解の節面の一つは、東アナトリア断層の形状と近い値を有するが、わずかに時計方向に回転しており、有意な非ダブルカップル成分をとらなう。この結果は、震源域南西部の断層形状の複雑性を反映していると考えられる。

Nurdağı-Pazarcık地震の破壊過程は、分岐断層での初期破壊、その後の東アナトリア断層の主破壊、断層形状が大きく変化する領域での主破壊の減速、破壊減速域からの北東・南西方向への遅れ破壊、と大きく4つのエピソードに分けることができる。本地震の成長過程は、複雑な断層形状に強く影響を受けたことが明らかになった。

(2) Ekinözü 地震（Mw7.6）

次に、2023年2月6日10時24分（UTC）に発生した後続地震について説明する。得られた破壊領域の長さは80 km程度であり、地震モーメントは 3.2×10^{20} Nm（Mw 7.6）である。破壊は、非対称ではあるがバイラテラルに伝播した。破壊伝播速度は震源領域のS波速度を有意に超えている。破壊は活断層の形状が大きく変わる領域で停止しており、破壊継続時間は15秒と短い。得られた震源メカニズム解の節面の一つはスグル断層帯と一致する。モデル平面の傾斜角度は 90° に設定しているが、スグル断層帯と一致する震源メカニズム解の節面の傾斜角は 61° から 76° と、やや北側に傾斜している。

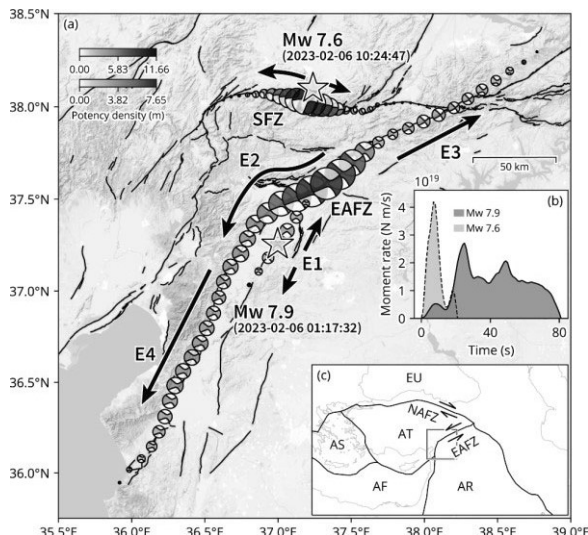


図-4 Mw 7.9 Nurdağı-Pazarçık地震とMw 7.6 Ekinözü地震のポテンシー密度テンソルインバージョンの解析結果（図は奥脇氏提供）。

3.2 地震活動解析

本章では、地震活動に関する解析結果について述べる。

(1) 震源再決定

本震の発生以降から4月27日までに発生した地震について、トルコ災害緊急事態対策庁(AFAD)およびボアジチ大学カンデリ地震観測研究所(KOERI)による余震カタログと該当する地震波走時の読み取り値データを取得・統合し、余震分布の推定を行った。統合カタログの初期震源位置は観測網が相対的に充実しているAFADの発表位置を採用した。統合カタログを基に、tomoFDD (Zhang and Thurber, 2006)により、絶対走時と相対走時を両方利用した震源決定を実施した。速度構造は、Güvercin et al. (2022)による1次元構造を用いた。震源域が広範囲にわたるため、速度構造の水平方向の変化が想定される。その影響を軽減するため、理論走時と観測走時の走時差の平均値を観測点補正值として用いた。解析の結果、AFADによる震央分布に比べて、震源がより明瞭な列状分布を示すようになった。また、震源深さは、平均約6.5 kmとなり、主に0-10kmの範囲に集中している。AFADによる震源深さは多くが深さ7 kmに固定されており、相対的には若干浅めに再決定される傾向が見られる。

(2) 包括的な地震カタログの作成

Mw7.9の地震以降の地震活動の詳細な時空間発展を明らかにするために、テンプレートマッチングによるイベント検出をおこなった。震源域周辺の地震計で収録された連続波形記録（公開データ）を取得した。テンプレートの震源情報として、AFADの地震カタログに掲載されている2023年1月～6月に発生

した地震を用いた。観測点によってはデータの欠測が生じることがあるため、36チャンネル以上の波形データが揃っている時間帯のみを検出用に使用した。その結果、Mw7.9の地震発生後2日以内では、AFADカタログの約3倍以上の地震を検出することに成功した。Mw7.9の震源域における余震数は、Mw7.6の余震数に比べて少なく、ETASモデルによりp値を推定すると、1.3以上と大きめ目の値が得られた。これは、Mw7.9の震源域における余震活動の減衰レートが大きいことを意味しており、Mw7.6が引き起こした負の静的応力変化の影響を受けている可能性が考えられる。

(3) 小繰り返し地震の抽出

震源域に比較的近い地震観測点の分布とUSGSによる震源分布との関係を調べ、小繰り返し地震の抽出に向けて準備をおこなった。観測点については、International Federation of Digital Seismograph Networks (FDSN)のシステムで比較的長期間（5年以上）観測を継続している観測点が複数あることを確認し、解析候補観測点として選ぶことができた。また、FDSNによる公開データを用いた繰り返し地震の抽出についてシステムの開発を継続した。今後、このシステムの開発を進め、繰り返し地震の有無やそれと他の地震活動や本震のすべり分布との関係についての議論を進める予定である。

3.3 応力場の特徴

震源域の応力場の特徴を調べるために、Global CMT (GCMT)カタログ (Ekström et al., 2012)およびKOERI CMT カタログ (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/moment-tensor-solutions/>)から、トルコ全域で過去に発生した地震のメカニズム解を取得した。GCMTカタログからは、1979年から2023年7月までに発生した648個の地震のメカニズム解を、KOERIカタログからは、2015年から2023年6月までに発生した359個の地震のメカニズム解を取得し重複する地震を除き、829個の地震データからなるデータ・セットを作成した。得られたカタログに、Yoshida et al. (2016)と同様の手順で応力インバージョン法を適用し、トルコ全域の応力場の空間変化を推定した。具体的には、研究対象領域全域に0.1°間隔でグリッド網を配置し、各グリッドにおける応力場の推定を行った。今後、応力場の空間分布の成因と、2023年Mw7.9とMw7.6地震発生過程について検討を行う予定である

3.4 地殻浅部の異方性構造

地震波が速く伝わる方位は広域応力場の最大水平

圧縮軸の方向と良い対応を示すことから、地震発生場を把握するための方法のひとつとして地震波速度異方性構造が広く調査されている。ここでは、震源域を含むトルコ東部周辺に設置された広帯域地震計で収録された遠地地震波形からレシーバ関数を推定し、その地震波到来方向依存性の調和成分を抽出、評価する方法 (Bianchi et al., 2010) を用いて地殻浅部の異方性構造 (速い軸の方位) を調査した。大局的にはGNSSから推定される反時計回りの回転運動 (Weiss et al., 2020) に沿った北西—南東方向を示す観測点が多い。しかし、東アナトリア断層周辺では、南北に近い方向を指す観測点が少なくなく、アフリカプレートやアラビアプレートの北進の影響を強く受けている可能性がある。震源周辺では東西方向を示す観測点もあり、局所的な回転の場を形成しているように見える。

4. 強震観測による災害発生機構の調査

4.1 被災地域での臨時余震観測

(1) はじめに

2023年2月6日4時17分 (現地時間) に発生したトルコ南部の地震は、東アナトリア断層帯で発生したマグニチュード7.8の地震であり、同日13時24分には、やや北部でマグニチュード7.5の地震も発生した。これらの地震によって、トルコ南部のカフラマンマラッシュ県やハタイ県などの広い地域で激甚な建物被害が生じた。とくに、建物被害は、主要都市が広がる平野部や断層近傍に多く発生している。被害原因の解明には、震源過程や平野部の地盤が強震動特性へ及ぼす影響を理解しておくことが重要となる。これらの地震の震源域のいくつかの地域で比較的密な強震観測が行われ、強震記録も得られており、震源過程や強震動特性が明らかにされている (例えば、USGS, 2023; METU, 2023; 三宅ら, 2023)。しかし、被災地域が広く、既存の強震観測点のみでは、被害と強震動特性との関係を明らかにするためには十分ではない。

本研究では、上述の地震の被災地域であるアディヤマン県、カフラマンマラッシュ県、ハタイ県において臨時強震観測を実施し、余震による強震記録から地震動特性を明らかにした。さらに、強震観測点では、表層地盤のS波速度構造を明らかにするために微動探査も実施した。ここでは、臨時強震観測の概要と得られた記録について説明する。

(2) 臨時強震観測

強震計の設置作業は、2023年3月15日から実施し、20日までに21地点に強震計を設置した。また、同年6月初旬に実施した強震記録の回収の機会に、さらに

1点をアンタキヤ地域に追加設置した。

図-5には、臨時強震観測地点の位置を示す。図の赤丸は本研究の観測点を、黒三角はAFADの観測点を示す。また、長方形は、上述した2つの主要な地震の断層モデルである (USGS, 2023)。アディヤマン県中心部では、図-6に示す4地点を設けた。カフラマンマラッシュ県では、図-7と8に示す東部のバザルジック地域と中心部に3地点および4地点を設けた。カフラマンマラッシュ県のバザルジック地区とアディヤマン市では、建物被害が多いが、強震観測点が少ないことを考慮した。一方、カフラマンマラッシュ都市圏の中心部には、図-8に示すように強震計も多く設置されている。しかし、同地域の南東部は、被害が多いにも関わらず、強震観測点が多く、臨時観測では南東部の3地点と基準点 (8) を設置した。震源断層南部のハタイ県の主要都市であるイスケンデルン地域とアンタキヤ地域は、地盤での増幅特性も大きいと考えられている地域である (Özmen et al. (2017; 山中, 2023)。図-9には、イスケンデルン地域の観測点が示されており、既存の強震観測点を補間するように設置した。観測点12や13の周辺は、集合住宅の崩壊が多くみられた。観測点15は、南東側の山地に位置している基準点である。ハタイ県のアンタキヤ地域にも5地点を設けた (図-10を参照)。そのうちの観測点19が南の丘陵地にある地点である。観測点17や22は、被害が厳しい地域にある。さらに、ハタイ県の南部のサマnder地域にも2点設置した。

各観測点では、学校などの低層建物の最下階の床面に強震計 (JEP-6A3)、データロガー (LS8800)、バッテリーから成る機器を設置した。本システムによって1gの最大加速度の揺れでも飽和しないために、2V/gの感度を持つ過減衰加速度計とした。また、バッテリーで2~3か月間連続データを記録することを考えて、各点ではカーバッテリー2台を電源として用いることにした。

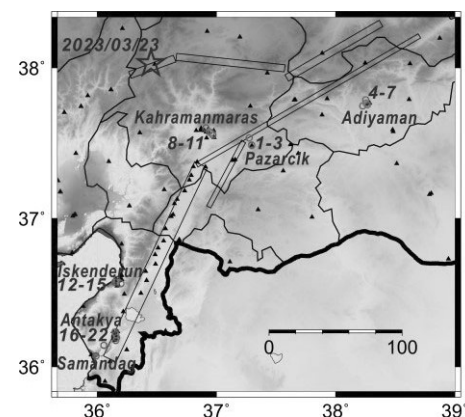


図-5 強震観測点の位置

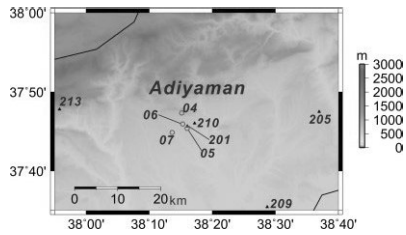


図-6 アディヤマン中心部の強震観測点（4：基準点）

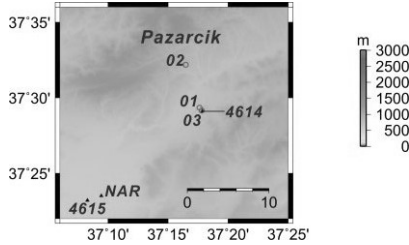


図-7 パザルジック地域の強震観測点（2：基準点）

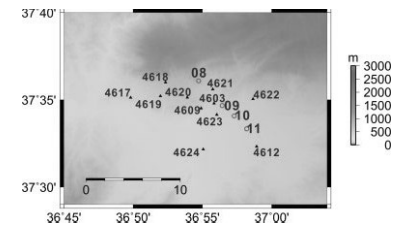


図-8 カフラマンマラッシュ中心部の強震観測点
（8：基準点）

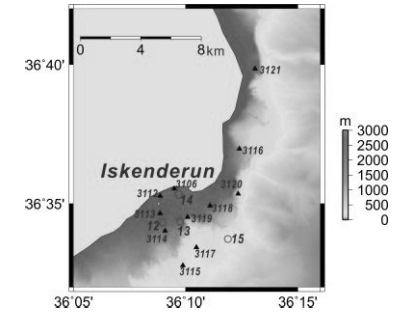


図-9 イスケンデルン地域の強震観測点（15：基準点）

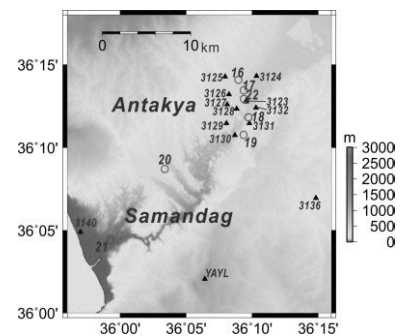


図-10 アンタキヤおよびサマダー地域の強震観測点（19，20：基準点）

(3) 強震記録

本臨時観測による強震記録の例が図-11に示されている。ここでは、3月23日19時19分（UTC）に発生した地震（深さ13km, Mw5.3）を例にして説明する。震央の位置は、図-5の星で示されている。臨時観測

点は、震央距離数十km程度離れている。図-11上は、南北方向の加速度記録を示している。図の振幅は、各地域の基準点（黒い横三角）の最大振幅で正規化している。また、横軸は4km/sでreducedした走時である。パザルジック地域では、基準点も含めて3地点の波形に大きな差異はない。その他の地域では、基準点に比べて、被災地域の観測点での波形の継続時間は長く振幅も大きい。周期1秒～10秒の帯域のフィルター処理をした加速度波形を図-11の下に示す。1秒以上の長周期成分では、後続位相の発生がより明確になる。とくに、イスケンデルンやアンタキヤ地域では、基準点に比べて、後続位相の増長効果が顕著である。

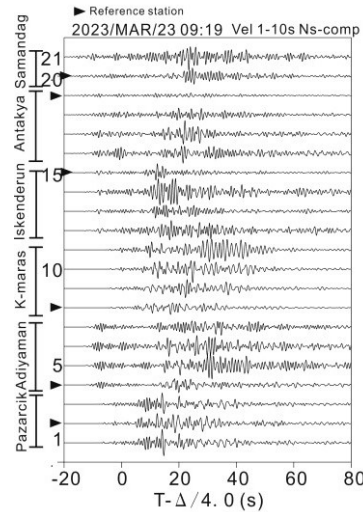
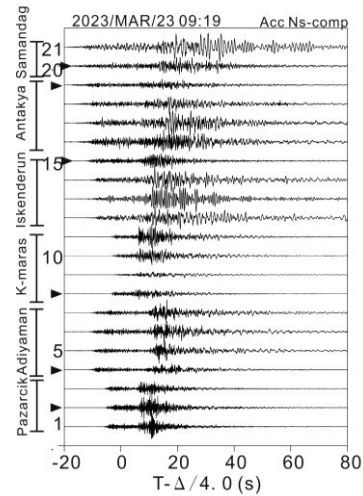


図-11 臨時観測点での観測記録の例
2023年3月23日9時19分の地震による加速度記録
（上）と周期1～10秒の帯域フィルター処理した加速度記録（下）

これらの記録の基準点に対するフーリエスペクトルの比を図-12に示す。パザルジック地域では、広い帯域で2地点のスペクトル比はほぼ同じであり、多くの周波数帯域で0.5-1倍である。アディヤマン地域

では、3Hz以下の周波数帯域でスペクトル比は似ている。カフラマンマラッシュ県中心部では、0.3-3Hzの周波数帯域で同地域南東部の観測点（10，11）において比が大きい。ハタイ県では、イスケンデルンおよびアンタキヤ地域の被災地域で0.2~2Hzの周波数帯域でスペクトル比が大きい。また、サマンダーでは、周波数1Hz付近での比が極めて大きい。

各地点の加速度記録から計測震度を計算した。図-13に示すようにパザルジック地域では、各地点の震度は同程度である。一方、アディヤマンやカフラマンマラッシュ県の中心部では、震度0.5程度が被災地域で大きくなっている。さらに、ハタイ県の3地域では、基準点に比べて、被災地域では震度が0.7-1程度大きい。

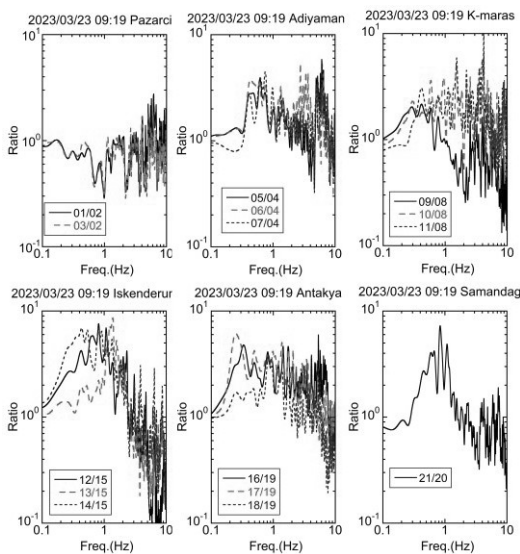


図-12の地震記録の水平成分のスペクトル比

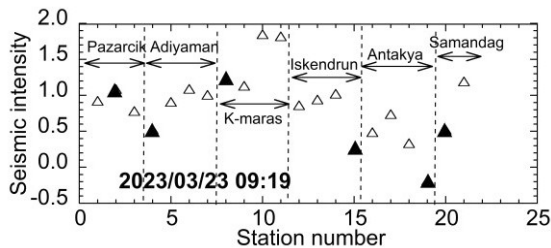


図-13 計測震度の分布

(4) おわりに

本研究では、2023年2月のトルコ南部の地震の被災地域であるアディヤマン県中心部、カフラマンマラッシュ県中心部とパザルジック地域、ハタイ県イスケンデルン地域、アンタキヤ地域、サマンダー地域において臨時強震観測を実施した。2023年3月中旬から6月までの約2.5か月間の連続記録を取得した。2023年9月まで本観測を継続する予定である。余震の際に得られた強震記録から、被災地域の地震動特性を明らかにした。パザルジック地域では被災地域の地盤特性は顕著ではないと考えられる。一方、その

ほかの地域では、被災地域での地盤による増幅の影響が大きい可能性が高い。今後、本研究による臨時観測点とAFADの強震観測点で得られた記録の分析を継続し、微動探査の結果と合わせて被災地域の地震動特性の特徴を明らかにする予定である。

4.2 地表地震断層と建物被害の関係

(1) はじめに

2023年2月6日、トルコ南東部でMw7.8の地震が発生し、Reitman and others (2023)によると、この地震による地表地震断層がGobasiからIslahyeにかけて約200km、KirikhanからAntakyaにかけて約40km出現したと考えられる（図-14）。門馬・他(2019)は、平成28年熊本地震における地表地震断層と建物倒壊率の関係を解析し、益城町では地表地震断層から100mまでの範囲における木造建物の倒壊率が60~80%と非常に高いことを明らかにした。本研究では、トルコ南東部の地震における地表地震断層と建物被害の関係を調査するため、地震発生前後に撮影された高解像衛星画像から、地表地震断層近傍の建物被害を判読し、地表地震断層と建物倒壊率の関係を検討した。

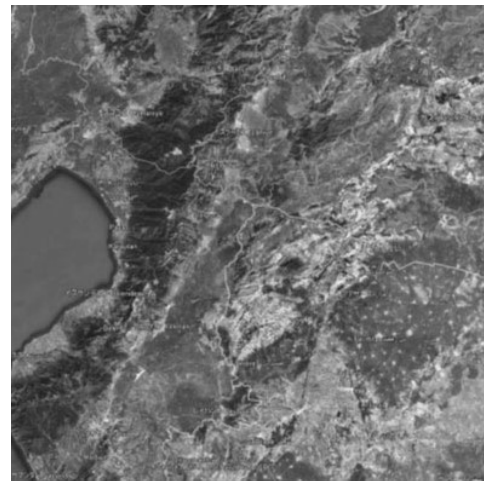
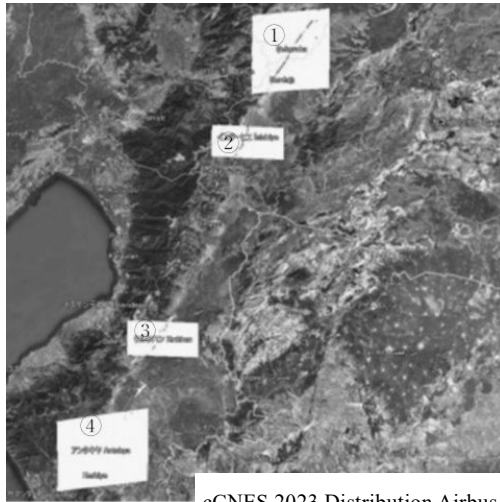


図-14 地表地震断層の位置

(Reitman and others (2023)の地表地震断層位置データをGoogleEarth上に赤線で表示)

(2) 衛星画像の選定

建物被害判読に用いる衛星画像は、地上解像度50cmのPleiadesの画像とし、図-15に示す4地区を対象に、Reitman et al. (2023)の地表地震断層のトレースの左右1 km程度の範囲について、地震発生前後のPleiades画像を収集した。



cCNES 2023, Distribution Airbus DS

図-15 画像収集したPleiades撮影範囲(黄色)

(3) 判読の方法

建物被害の判読は、地震発生前後の画像を目視により比較し、表-1に示す建物被害の判読基準に従い、建物被害を5つに区分した。

表-1 建物被害の判読基準

被害区分	被害程度
1	画像からは被害が確認できない
2	建物は傾いているが原型をとどめている
3	建物の一部が崩れ落ちている
4	建物の半分以上が崩れ落ちている
5	建物が完全に崩れ落ちて原型をとどめていない、または完全に倒壊している

(4) 判読結果の報告 (Sekeroba地区)

判読は、図-15に示した①Sekeroba地区(約61km²)から進めており、その暫定的な判読結果を表-2に示す。

表-2から、判読した建物棟数は、7,937棟で、このうち被害区分5の建物が完全に崩れ落ちて原型をとどめていない、または完全に倒壊している建物は549棟、被害区分4は294棟、被害区分3は1,127棟である。また、各被害区分が全棟数に占める比率の名称を、被害区分5は倒壊率、被害区分4は大規模損壊率、被害区分3は一部損壊率とすると、倒壊率は7%、大規模損壊率は4%、一部損壊率は14%となっている。

表-2 被害区分別の棟数(暫定)

被害区分	棟数	比率
1	5,967	75%
2	0	0%
3	1,127	14%
4	294	4%
5	549	7%
合計	7,937	100%

被害区分5の建物ポイントと地表地震断層とをPleiades画像上に併せて表示し、図-16の被害区分5の分布図を作成した。

図-16から、被害区分5の建物の分布を見ると、地表地震断層に沿って連続して集中的に分布するエリアと地表地震断層から離れた市街地に広く分布するエリアがある。

この地表地震断層に沿って連続して集中的に分布するエリアについて、地表地震断層から水平距離別の倒壊率を算出し、表-3に示した。表-3から、地表地震断層から100m以内の倒壊率は11.1%であり、表-2に示した判読全体の倒壊率7%より大きい値となっている。



— 地表地震断層

● 被害区分5の建物ポイント

図-16 被害区分5の分布図(暫定)

表-3 地表地震断層からの水平距離別倒壊率

水平距離 (m)	0～100	100～200	200～300	300～400	400～500
倒壊率	11.1%	8.7%	5.5%	6.3%	3.8%

(5) 今後について

今後、図-2で示した②Islahiye地区(約28 km²)、③Kirikhan地区(約28 km²)及び④Antakya地区(約54 km²)の判読を行い、4地区の判読結果から、地表地震断層と建物被害の関係を総合的に検討する予定である。

5. 災害調査による建築構造物被害の解明

日本建築学会、土木学会、地盤工学会と相談のうえ、4団体合同で調査団を派遣することとした。また、第一回目の調査日程を3月28日～4月4日とし、調査団団長を楠とすることとした。

調査の目的は、イスタンブール工科大学 (Istanbul Technical University, 以下 ITU) の Alper Ilki 教授との情報交換を踏まえて、主として次の6点とした。

1. 強震観測点周辺の被害状況調査
2. RC造建物、鋼造建物、組積造建物、免震・制振建物の被害概要調査
3. 病院・工場の事業継続に関する調査
4. 歴史建造物の被害調査
5. 地盤被害調査
6. トルコの建築関係の法令とその実態、および復興計画調査

5.1 RC造建物の被害状況

RC造建物の調査地域を図-17に示す。調査地域は1度目の地震の震源を中心として、その北東から南西へ350km超に及ぶ。すべての地域で甚大な被害が見受けられた。なお、トルコの耐震規定は、最近では、1999年、2007年、および2018年に改訂されている。

トルコの建物の特徴として、非常に扁平率の高い柱が用いられている事である。所要の曲げ強度を確保するため、特に1階の柱脚で配筋が多い。さらに、脚部で主筋が重ね継ぎ手されているため、主筋の空気が極めて狭いものが建設年代によらず被害建物では多く見られた(写真-1)。

また、写真-2に示すようなパンケーキ状破壊を生じた建物も多くの都市で散見された。建物によっては、2度目の地震で倒壊したとのことであった。2018年以降の建物では、全体崩壊形を形成したものの巢の応答変形が極めて大きくなったと思われるものや、建物脚部から転倒したもの(写真-3)も見受けられた。

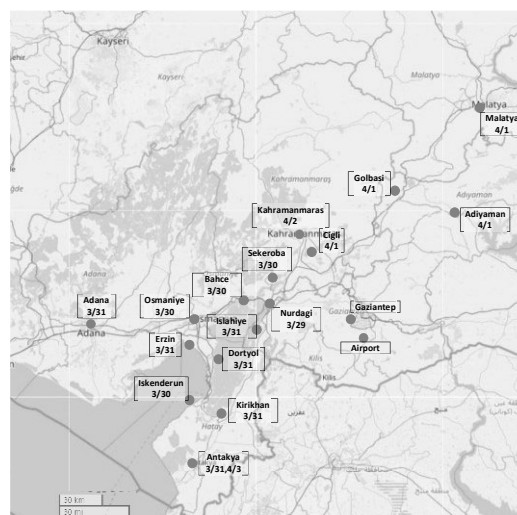


図-17 調査対象都市

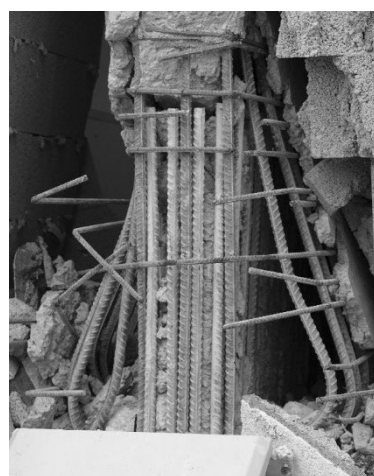


写真-1 柱脚重ね継ぎ手部 (Iskenderun)



写真-2 パンケーキ状に破壊した建物 (Antakya)

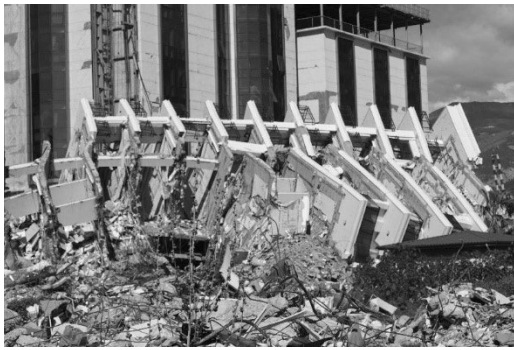


写真-3 転倒した建物（İskenderun）



写真5 13階建て集合住宅（Antakya）

5.2 RC造建物の詳細調査

建物被害が多く見られた5県において、25棟のRC造建物を対象に、寸法計測や被災度区分判定等の詳細調査を実施した（大破10棟、中破6棟、小破3棟、軽微4棟、無被害1棟、精査中1棟）。

一例として Antakya で建設中であった4棟の集合住宅の例を示す。4棟とも平面計画は同じで、構造部材の寸法・配筋も同じと思われる。A棟はBF1+11階建てで、脚部から転倒倒壊した。B棟はBF1+12階建てで、1層が層崩壊した。C棟は13階建てで、その被害状況から全体崩壊形を形成したものの、南側に大きく傾斜し、残留変形角は最大で6%近くに及んでいる。D棟は8階建てで、被災度区分判定の結果、中破となった。

写真-4に倒壊したA棟、写真5にC棟の建物全景と、一例として梁の被害を示す。梁は曲げ降伏後のせん断破壊とみられる被害が多数みられ、非常に大きな変形を経験したと考えられる。図-18に各部材の被災度を示す。図には、1階のY4軸上の柱で計測した残留変形角も示している。X4-Y4柱で、南側に6.2%の残留変形角を生じていた。図からもわかるとおり、梁の被災状況が激しく、建物の被災度区分は大破となった。

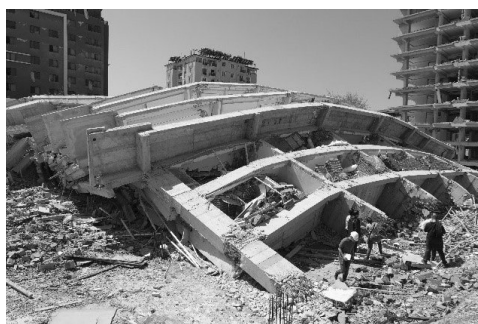


写真-4 13階建て集合住宅（Antakya）

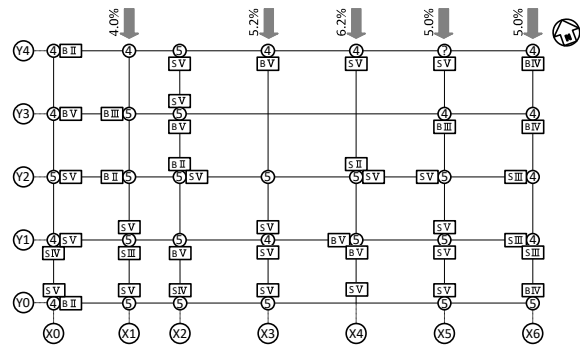


図-18 被災度判定結果（○は柱の被災度で曲げ、□は梁の被災度でB：曲げ、S：せん断）

5.3 免震建物の被害と工場・病院の事業継続性調査

ここでは、免震構造の病院とプレキャスト工場の被害について紹介する。

写真-6は Malatya に位置する、地下2階、地上7階建てRC造病院建物（2022年竣工）である。地下2階の柱頭に免震が配置されている。免震装置は写真-7のように転がり免震を採用している。周辺地盤等とのクリアランスはおおよそ1mであった。一方、転がり免震に残ったケガキ傷から推定すると、全振幅で18cm程変形したと推察される。被害はクリアランス部のカバーなど、非構造材に若干生じたが、既に修復済みであった。

写真-8は Kahramanmaraş にある、建設中の工場建物で、プレキャスト構造である。図-19に示すように、プレキャスト梁はコーベル上に設置され貫通ボルトで緊結されていた。一部ロングスパン部分では、梁にプレストレスが導入されていた。地震により、一部のプレキャストばりが落下していた。



写真-6 免震建物 (Malatya)

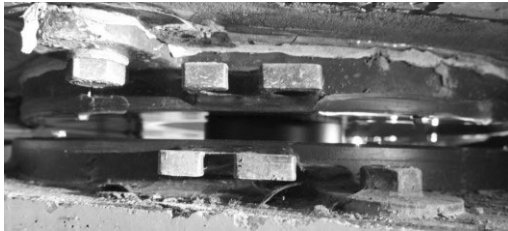


写真-7 転がり免震装置 (Malatya)



写真-8 建設中の工場建物 (Kahramanmaraş)

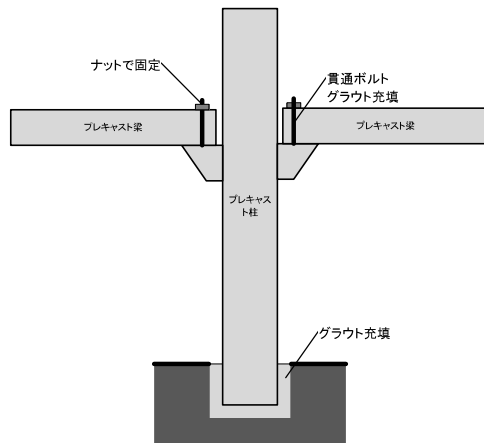


図-19 プレキャスト部材の接合方法

6. 災害調査による土木構造物被害の解明

6.1 橋梁の被害

トルコ南東部の被災地域における主要な道路ネットワークでは、地震発生直後から、う回路の設定や車線規制が行われた結果、完全に通行不能となった区間はMalatyaからGolbasiまでのみと限定的であった。ただし、被害程度に応じて通行可能、不可能を

判断する基準が日本とは異なるため、発生した被害が少ないことを必ずしも意味しない。実際に著者らが現地で確認した限り、何らかの損傷を受けているものの、速度制限や車線規制をすることなく通常通り供用されている橋は珍しくなかった。

写真-9はGaziantep県Nurdagi近郊の高架橋の橋台とデッキのジョイント部の損傷に対する復旧作業が行われている様子である。このような橋台とデッキのジョイント部、あるいはデッキとデッキのジョイント部の損傷は他にも複数の橋でも確認できた。



写真-9 橋台とデッキのジョイント部の損傷

写真-10はKahramanmaraş県Kahramanmaraşにおいて、桁の横ずれ防止ブロックが損傷した様子である。同様の被害も他の複数の橋で確認できた。なお、この橋には桁間をつなぐ横桁が設けられていなかった。このように横桁が設置されていないことは、トルコの橋に共通して見られる特徴であった。



写真-10 横ずれ防止ブロックの損傷

写真-11はHatay県Demiropuにおいて地盤の側方流動により橋台が傾斜した状況である。この橋台の傾斜によって、路面には大きな段差が生じていたものの、車両の通行は行われていた。この橋から100mほど離れた学校の校庭では噴砂が確認できた。

その他、道路橋の被害に関しては、Nurdagi近郊の

斜張橋のデッキの落下，Antakya郊外の5径間単純桁橋の橋脚の傾斜とデッキの落下を確認した。



写真-11 傾斜した橋台

6.2 断層との交差点での線状構造物の被害

この地震では，道路，鉄道やパイプラインといった線状構造物が，地表に出現した断層変位による影響を受けた。写真-12はKahramanmaras-Gaziantep道路のNarliからKahramanmarasに向かう間の盛土区間が断層変位に伴い約4mの横ずれを生じた地点で撮影したものである。この地点ではほぼ完全な横ずれ変位となっており，段差は生じていない。断層と道路の交差角度の関係から，ガードレールが引張力により引きちぎられた状況も確認できた。また，周囲の畑には，路面に現れたずれを延長する方向にずれの痕跡が残っていた。

写真-13はNarliにおいて確認した送電鉄塔の部材の座屈である。これは，左横ずれした断層と送電線の交差角度の関係から，断層変位に伴って送電線に引張力が作用したことが原因だと思われる。同様の被害はSekerobaでも見られ，こちらも断層変位と送電線の交差角度は，送電線に引張力が働くようになっていたことを確認した。

Gaziantep県Islahiyeでは埋設管（用途不明）が地表断層との交差点で座屈し，地表に出現した様子が見られた（写真-14）。これらの管は地表から数cmの深さに埋設されており，通常の埋設管に比べると地上側に変形が出やすい状況であったと考えられる。



写真-12 断層変位に伴う道路の横ずれ



写真-13 断層と送電線の交差により鉄塔に生じた部材座屈



写真-14 断層変位との交差点で座屈し地表に露出した埋設管（用途不明）

6.3 斜面崩壊

Antakyaの南東約7kmに位置するTepehanにおいて大規模な斜面崩壊が発生した。地すべりの全景を写真-15に示す。地すべりの全長は約500m，幅は100～150m程度である。当該地の基盤は比較的脆い石灰岩

であり、その岩片からは魚類の化石も確認された。また、舌端部には崩壊土砂が堆積して原地盤より5m程度高くなると共に、小さな天然ダムを形成していた。

写真-15には、UAV測量により得られた主側線の地表面標高も示すが、この断面からも分かるように、Tepehanの地すべりの特徴の一つはその斜面勾配である。被災地を取り巻く丘陵地は全体になだらかであり、崩壊部の勾配も約4度であった。これは、一般的な地震地すべりの斜面勾配と比較すると非常に緩い。また、滑落崖から約100mまでは深度約10~15mの沈降帯が見られ、崩壊・移動した土塊は元の形状を残していることも特徴的である。これらの特徴は2008年岩手・宮城内陸地震で発生した荒戸沢地すべりとも類似しており、そのメカニズムとして深部において地表面と並行する弱層が存在し、これが地震動により軟化して上部の土塊をそのまま滑動させた可能性が考えられる。また、崩壊部は周辺と比べてやや表面水が集まりやすい地形となっていたことから、すべり面に液状化を引き起こす十分な地下水が供給されていた可能性も考えられる。

Tepehanの地すべりは今回の地震を引き起こした断層の延長線上に位置しており、地すべりブロックには直線状の溝が確認された。この溝は断層方向とも合致するだけでなく、他の断層の観察でも見られた左横ずれのパターンとなっていた。このため、Tepehan地すべりの発生は断層運動の影響を受けた可能性も考えられるが、今回の調査ではその関連性は解明できていない。

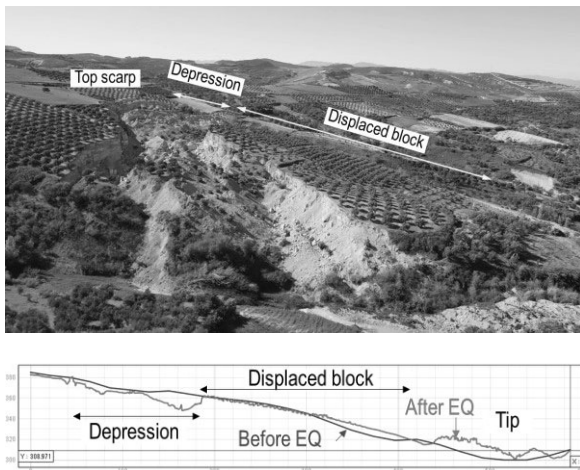


写真-15 Tepehan地すべりとUAV測量による主側線の地震前後の地表面標高

7. 大規模広域地震災害マネジメントとリスクコミュニケーションの解明

7.1 災害対応と被災者支援

(1) はじめに

トルコは1999年に北アナトリア断層を震源とするマルマラ地震で大きな被害を受けており、復興過程においては防災機能強化のための様々な取り組みが実施された。その一つが、各省に分散されていた防災機能の統合であり、2009年には首相府危機管理庁（AFAD）が設置された。今回の地震は、AFAD設置後に初めて経験する大規模広域地震災害であった。

本研究では、カフラマンマラシュ地震においてAFADによる災害対応がどのように行われたのか、4月15日~25日に実施した現地調査に基づき述べる。

(2) AFADによる災害対応

トルコ政府は、2009年に首相府緊急事態総局（TEMAD）、内務省市民防衛総局（GDCCD）、公共事業・住宅省地震総局（GDDA）を統合し、AFADを設置した。そして2014年にはトルコ国家災害対応計画（TAMP）が策定された（2022年に更新）（The Government of Türkiye, 2023）。

今回の地震発生後、AFADは即座に非常事態宣言を10県に発令した（81県中。その後、非常事態宣言対象県はその後11県に拡大）。AFAD職員及び内務省の幹部職員を被災地に派遣し、被災地の災害対応の支援にあたった。災害発生から3月1日までに派遣された職員は、AFAD幹部職員38名、県知事38名、郡長68名、地方自治体幹部職員160名であった（AFAD, 2023）。

今回の調査においては被災県の災害対策センターにおいて支援業務に携わっていた職員から話を聞いた。被害が大きかったハタイ県の災害対策センターでは（写真-16）、被災者支援業務が「清掃」「風呂・トイレ」「物資」「運営」「廃棄物」に細分化され、部門ごとに支援担当自治体が割り当てられていた。「清掃」部門長は、トルコ北東部のシノップ県の郡長であり、内務省との調整により1ヶ月間避難所の清掃業務の統括業務にあたった。



写真-16 ハタイ県災害対策センター

(3) 避難所と被災者支援

日本では、災害時には学校や体育館等の公共施設が避難所として利用されるが、トルコでは避難所は指定されておらず被災者にはテントが提供される。公園等には複数のテントが並ぶテント村（Çadır Kent）が開設された。テント村は被災11県に332カ所開設さ

れ、358,037名が避難していた（AFAD, 2023）。

震源近くに位置するパザルジュック県ナルルのテント村は地震から3日後にAFADにより設置され、調査時点では95世帯が暮らしていた（写真-17）。テントは世帯ごとに提供されており、生活用品（ベッド・マットレス・調理器具・絨毯・ストーブ等）が整備されていた。これらの支援は、AFADが被災者のニーズを確認し調達・提供されたものであった。テント村にはシャワーやトイレとして専用のプレハブが建てられていた。また、小学校・中学校・幼稚園として大型のテントが設置されていた。テント村には安全管理のため軍が常駐しており、生活環境は良好であった。AFADは主としてテント村の開設と管理運営、被災者への物品の提供を行っており、被災者への食事の提供はトルコ赤新月社（TRC）が行っていた。

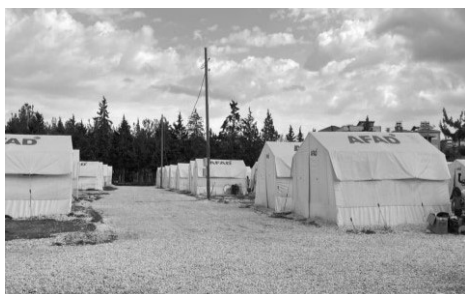


写真-17 テント村の様子

なお、これらのテント村とは別に市内の随所にテントが設置されていたが、その多くは被災したシリア人が自宅敷地内に設置しているものであり、シリア人とトルコ人とでは支援状況は異なっていた。

(4) おわりに

以上に述べたように、今回の地震災害においてAFADは中央レベルにおける政策決定のみならず、被災現場レベルにおいても多様な被災者支援を実施していた。災害対応は、全国の行政職員の支援を得て行われており、AFADと内務省により人的支援の調整が行われていた。被災者支援業務は細分化されており、被災者一人一人のニーズを確認したうえで支援は提供されていた。

ただし、地震発生直後は状況が混乱し、支援体制が整備されるまで数日要していた。また、中央政府による意思決定・指示に基づき対応が行われており、被災現場の担当はどのような経緯で意思決定が行われているのかを把握していない事例もみられた。

トルコの災害対応体制は中央集権的であり、市町村を中心とする地方分権的な日本の災害対応とは異なる。このような災害対応体制の違いが被災者支援の質や地域の復興にどのような影響をもたらすのか、今回の調査から得られた結果に基づきさらにさらに研究を進める予定である。

7.2 震災前後の情報リテラシーの変化について

(1) はじめに

今回の大震災前にAFADは詳細な地震ハザードマップを作成していたが、被災地の市民の認識は地震対策への認識が十分ではなかった。ここでは、大震災前後の地方行政や学生を対象としたインタビュー等によりその要因と大震災前後の災害情報リテラシーの変化を調査する。この結果を、今後の防災教育等に活用することを目的として実施する。

(2) 調査の概要

2023年10月上旬に被災において災害情報リテラシー調査を予定している。現地にはゲブゼ工科大学 Ceren准教授に同行いただきインタビュービュー等の実施し、大震災前後の災害情報リテラシーの変化を調査する。調査対象は被災地での地震対策や復旧作業を行っている地方行政ならびに情報リテラシーが高い大学生を想定している。

(3) 事前情報収集

図-20にAFADの地震ハザードマップを示す。これまでAFADは1999年のコジャエリ地震（イズミット地震）を契機に詳細な地震ハザードマップを作成し、国民への周知を行ってきた。しかし、危惧される北アナトリア断層沿いの地震リスク（マルマラ地震）は多くのトルコ国民が認識しているものの、図1の東アナトリア断層沿いの地震リスクは十分には認識されていなかった。



今回の被災地域の市民は地震リスクを十分認識していなかった。その理由はこの地域で近年大きな被害地震は発生していなかった。

図-20トルキエの地震ハザードマップ

その結果、耐震化が進まず、多くの是弱な構造物がその理由の一つとして、図-212に示すように被災地域では近年大きな被害を出すような地震が発生していなかったことが挙げられる。



図-21 過去の被害地震

(3) 期待される成果

本研究により過去に被害地震が少ない地域におけるハザードマップ等による災害情報リテラシーの状況ならびに大震災後の変化を知ることにより、今後のトルコにおける災害情報リテラシー向上の迅速化を図ることが期待される。特に危惧される北アナトリア断層沿いの地震（マルマラ地震）への対応はトルコ最大級の地震防災課題であることから、災害情報リテラシー向上と耐震化の推進は必要不可欠である。

8. まとめ

本報では、文部科学省科学研究費補助事業（特別研究推進費）の「2023年トルコ南部の地震と災害に関する総合調査」のこれまでの成果を概説した。本年度末には、各テーマは次の内容で研究成果を取りまとめる予定である。

「テーマ1. 衛星測地等による地殻変動と災害把握」においては、「だいち2号」による世界で最も優れた解像度の衛星画像を用いて、トルコ南部の地震による地殻変動の推定と災害把握を行う。また、東アナトリア断層帯の震源域の活断層および斜面災害調査を行い、連動型地震と災害の発生メカニズムを解明する。

「テーマ2. 地震発生機構の解明」においては、本震のみならず続発した大地震に関する地震発生場の理解を進める。特に、震源過程解析と地震活動解析による結果を包括的に解釈することで、一連の地震活動の発生過程を明らかにする。また、応力場・地震活動・震源破壊過程・地殻変動の解明、流体の関与の理解等、複雑な断層系における総合的な学術成果を創出する。

「テーマ3. 強震観測による災害発生機構の調査」においては、余震活動が活発なうちに、被害地域の強震観測点を補強するように臨時観測を行い、地盤条件が空間的に複雑に変化する平野部での地震動特性を評価し、地震被害発生機構を明らかにする。また、広大な地域で大きな揺れが生じたメカニズムを

解明し、わが国の同等あるいはそれ以上の規模の地震災害対策に生かせる知見を得る。

「テーマ4. 災害調査による構造物被害の解明」においては、建築・土木・地盤工学等の観点から、トルコ南部の地震により極めて広い範囲で建物が倒壊し、甚大な地震災害を引き起こされた原因を総合的に解明する。また、建物の被害を調査し、無被害の建物についても、なぜ被害がなかったのかを明らかにし、日本の耐震に生かせる知見を得る。さらに、日本では事例の少ない断層変位や地すべり、液状化等の地盤変位が構造物およびライフラインに及ぼした影響を調査し、巨大地震に対して強靱な社会システムを実現するための資料とする。

「テーマ5. 大規模広域地震災害マネジメントとリスクコミュニケーションの解明」においては、大規模広域地震災害における災害対策マネジメントの特質と課題を解明するとともに、地震防災教育プログラムと減災リスクコミュニケーションのあり方を検討する。そして、今回の地震の科学的知見と地震への対策の重要性について、トルコの人々に伝える防災教育に国際的な視点から取り組み、未来に向けた災害に強い地域づくりに向けた活動を行う。

参考文献

- Adriano, B., Miura, H., Liu, W., Matsuoka, M., Portuguese, E., Diaz, M., and Estrada, M. "Revising the 2007 Peru Earthquake Damage Monitoring Using Machine Learning Models and Satellite Imagery," *Journal of Disaster Research*, **18**(4), 379-387
- AFAD (Disaster and Emergency Management Presidency), 1990. National Seismic Network of Turkey (DDA). International Federation of Digital Seismograph Networks. <http://tdvm.afad.gov.tr/>.
- AFAD, Press Bulletin-36 about the Earthquake in Kahramanmaraş, 01.03.20
- Bianchi, I., Park, J., Piana Agostinetti, N. and Levin, V. (2010): Mapping seismic anisotropy using harmonic decomposition of receiver functions: An application to Northern Apennines, Italy, *J. Geophys. Res.*, **115**, B12317, doi: 10.1029/2009JB007061.
- Ekström, G., M. Nettles, and A. M. Dziewonski (2012): The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **200-201**, 1-9.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., and Şaroğlu, F. (2013): Active fault map of Turkey, Special Publication, Series 30, General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Ankara,

Turkey.

Görüm, T., Tanyas, H., Karabacak, F., Yılmaz, A., Girgin, S., Allstadt, K., Süzen, M.L., Burgi, P. (2023): Preliminary insight into the co-seismic landslides and surface 1 deformations triggered by the February 6, 2023 Türkiye-Syria earthquake sequence (draft under review)

Government of Türkiye (2023) Türkiye Earthquakes Recovery and Reconstruction Assessment.

Güvercin, S. E., Karabulut, H., Konca, A. Ö., Doğan, U., & Ergintav, S. (2022): Active seismotectonics of the East Anatolian Fault. *Geophysical Journal International*, 230(1), pp. 50-69.

KOERI, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Bosphorus Univ., 2001. Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. <https://doi.org/10.7914/SN/KO>.

Okuwaki, R., Yagi, Y., Taymaz, T., Hicks, S. P. (2023): Multi-scale rupture growth with alternating directions in a complex fault network during the 2023 south-eastern Türkiye and Syria earthquake doublet. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 50, e2023GL103480.

Reitman et al. (2023) : Preliminary fault rupture mapping of the 2023 M7.8 and M7.5 Türkiye Earthquakes (<https://doi.org/10.5066/P985I7U2>)

Weiss, J. R., Walters, R. J., Morishita, Y., Wright, T. J., Lazecky, M., & Wang, H., et al. (2020): High-resolution surface velocities and strain for Anatolia from Sentinel-1 InSAR and GNSS data, *Geophys. Res. Lett.*, 47, e2020GL087376, doi: 10.1029/2020GL087376.

Xu, L., Aoki, Y., Wang, J., Cui, Y., Chen, Q., Yang, Y., and Yao, Z. (2023), The 2023 Mw 7.8 and Mw 7.6 earthquake doublet in SE Türkiye: coseismic and early postseismic deformation, faulting model and potential seismic hazard, *Seismological Research Letters*, in press.

Yoshida, K., Pulido, N. & Fukuyama, E. (2016): Unusual stress rotations within the Philippines possibly caused by slip heterogeneity along the Philippine fault. *J Geophys Res Solid Earth* 121, 2020–2036.

Zhang, H., and Thurber, C. (2006): Development and Applications of Double-difference Seismic Tomography. *Pure and Applied Geophysics*, 163(2-3), pp. 373-403.

門馬直一・藤原広行・中村洋光・佐伯琢磨・内藤昌平・下村博之・山田哲也：平成28年熊本地震における地表地震断層近傍の建物被害、2019年地震工学会大会梗概集

金田義行：SATREPSにおける地震防災分野の国際協力—SATREPS トゥルキエの研究概要—
日本地震工学会誌 第48号 P9-12 2023

謝 辞

本地震で亡くなられた方々に弔意を、また被災された方々にお見舞いを表します。

本研究の一部では、KOERI、AFADならびにドイツポツダム地球科学研究センターが設置し、公開している広帯域・短周期地震計記録を解析に用いました。

本研究では、科研費特別研究促進費（22K21372）のほかに、国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）（21KK0075）、全国耐震ネットワーク委員会および日本建築センターからも補助して頂きました。

本調査の一部は、日本建築学会、土木学会、地盤工学会、日本地震工学会の調査団と共同で実施したものです。本調査においては、KOERIデータの取得・整理においてDogan Kalafat博士、AFAD・Tatar教授、中東工科大学・Albayrak氏、は森伸一郎先生（愛媛大学）、小山真紀先生（岐阜大学）、村上ひとみ先生（山口大学）、Nurcan Meral Özel先生（ボアジチ大学）、Dilek Kepekçi氏のご協力を頂きました。また、在トルコ日本大使館、国際協力機構、国土交通省、トルコ環境都市化気候変動省、イスタンブール工科大学をはじめとするトルコの各大学の研究者各位、トルコ首相府防災危機管理庁（AFAD）等、沢山の方々のお世話になりました。ここに感謝の意を表します。