

1999年トルコ・コジャエリ 地震調査速報

当麻純一 Jun'ichi TOHMA

正会員 工博 電力中央研究所 地盤耐震部 上席研究員

橋本隆雄 Takao HASHIMOTO

正会員 ㈱千代田コンサルタント 都市計画部設計二課長

事故・災害

はじめに

1999年8月17日、トルコ共和国北西部でマグニチュード7.4の大地震が発生し、イズミット市などトルコ北西部の主要都市とその周辺地域において、甚大な人的被害と構造物被害が生じた。特に、多くの死者が鉄筋コンクリート造集合住宅のパンケーキクラッシュ等の崩壊、倒壊による構造物被害により生じた。このため、土木学会では、日本建築学会、地盤工学会との合同調査団を組織し、9月6日～11日を中心に現地調査を実施した。

土木学会調査団は、主として次の項目について現地調査した。

- ・強震観測地点の計器の設置状況，地盤弾性波測定
- ・地表断層，地盤変状の踏査
- ・工場など産業施設の被害と復旧
- ・電力，水道，ガスなどライフラインの被害と復旧
- ・道路，鉄道施設の被害と復旧
- ・港湾施設の被害と復旧

断層および地震動

公共事業住宅事業省防災局地震研究部による震源（破壊開始点）位置は以下のとおりである。

発震時：1999年8月17日0時1分37.6秒（GMT）

緯度：北緯40.74度，経度：東経29.89度，深さ：18km

地震の規模は、モーメントマグニチュード(M_w)で7.4であり、1995年兵庫県南部地震($M_w = 6.9$)を大きく上回る。モーメント・テンソル解からは、ほぼ東西方向の右横ずれ断層破壊であることがわかって

いる。

地表で確認されている右横ずれ成分を持つ地表断層は、北アナトリア断層に沿って西からギョルジュク市域西部に上陸し（最大変位4mほど）、市街地を通り海軍基地内でわからなくなる。イズミット湾奥南部で再び上陸し（最大変位2mほど）、サバンジャ湖を通過してアダバザルの南でデュジェ断層に移り（最大変位4mほど）、その南西あたりでわからなくなる。

一方、余震分布からは、西はヤロワ付近、東はデュジェ付近までの長さ約150kmが起震断層と考えられている。

公共事業住宅事業省防災局地震研究部、トルコ地震研究所による強震観測点における水平最大加速度の分布を示す（図-1）。イスタンブール市街域は、震源からは遠く、しかも全体的には岩盤と見なしうほど地盤が良好なため加速度は全般に小さいが、マルマラ海に面した一部の地区（堆積地盤）では250gal程度と大きく、被害が局所的に現れ、堆積地盤の地震動増幅効果と考えられている。

最大水平加速度408galを観測したのはアダバザル市街地に近いサカリヤ観測地点である。市街地は沖積地盤

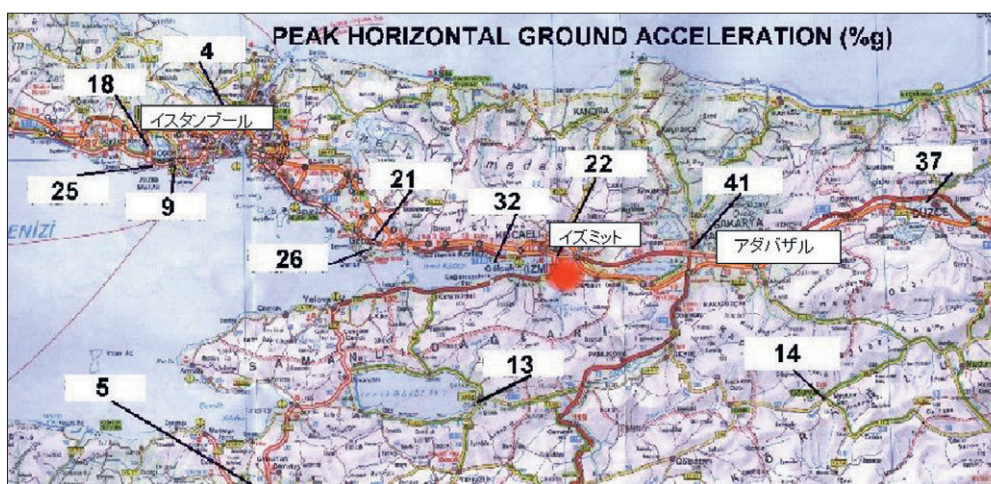


図-1 強震観測点における水平最大加速度の分布
(図中の数値は重力加速度に対する%) (出典：http://kandilli.koc.net/smn1.htm)

上に発達しており被害が大きかったのであるが、この観測地点は市街地中心から南西に約2 kmの丘陵部にあり、硬質地盤上の倉庫内の独立基礎に設置されており、その付近には被害は見当たらない。観測波形には周期5秒程度の震動成分が特徴的である。

このようなやや長周期成分の卓越が今回の観測地震動の特徴であり、震源域にあっても低層の建物に被害が少ないことや、窓ガラスや什物の損壊が少ない（建物が倒壊した場合は論外）理由と関係がありそうである。わが国の構造物がこのようなやや長周期の強震動を受けた前例がないため、長大橋、高層ビル、免震構造物など長周期の構造物の耐震検討に今回の教訓を活かす必要を感じた。なお、本調査団では、主要な地震観測点を現地調査し、観測点近傍の被害（大被害はほとんどない）状況や地震計の設置状況を把握するとともに、板たたき法による表層のせん断波速度測定を行った。

地盤変状と液状化

地表に現れた横ずれ断層（主断層）をはじめとして、上下ずれを伴った地変やすべり、液状化などの地盤変状が随所に見られた。ギョルジェク周辺では、横ずれ断層に斜行する、海側落ちの上下ずれを伴った地変（最大変位2 mほど）が広範囲に見られた。これが海岸部の沈降・水没の主な原因と考えられる。これは、雁行する横ずれ断層の間に張力場が生じて断層が通過する海谷部で海底陥没が起こり、これにつられて陸上部で広域のすべりが生じたのではないかと考えられるが、今回の調査の範囲では定量的な検討に耐える材料が得られていない。

アダバザルでは市街地に液状化とそれによる被害が見られた（写真-1）。この市街地は黒海に注ぐサカリヤ川が形成した平野に位置している。表層20 m程度の地盤は過去200年間に堆積した沖積層であり、地下水位は1～3 mと浅い。このため、部分的に液状化が生じたものと考えられるが、市街全体を覆うほどの範囲ではない。液状化が発生したと思われる区域においても大規模な噴砂、噴水跡が見当たらなかったのは表層の非液状化層のためであろう。建物の被害形態を見ると、液状化が主因と見られる傾斜、沈下が集中する区域と、地震慣性力が主因と見られる倒壊が集中する区域とが市街に混在している。詳細については地盤工学会のグループが主に調査検討中である。

石油精製施設の被害

イズミットの沿岸地域はトルコ有数の工業地帯であり、地震直後は産業施設に広範囲に被害が及んだものと



写真-1 アダバザル市内の液状化による建物の倒壊



写真-2 トルコ石油精製工場の火災後のタンク

見られる。ただし、地盤が硬質で良好であるため、地震動の極端な増幅や大規模な地盤変状がなかったものと考えられ、公道上から見た範囲では工場群に異常は認められなかった。このうち、トルコ石油精製会社（TÜPRAŞ）の経営するイズミット工場はイズミット湾に面し、ちょうどギョルジェクの対岸に位置する。敷地内に多数のタンクがあり、その形態も平底円筒形（屋根なし、固定屋根式、浮き屋根式）、球形タンクなど多様である。この工場内のタンクの火災は地震直後から約1週間続き、二次災害への懸念から、今回の地震の象徴的な被害として報道された。

幸いにも、本調査団は現地技師の案内で構内に入り、炎上したタンクの残骸を見ることができた（写真-2）。これらは浮き屋根式のタンクであり、直径は25 m程度である。プロダクトタンクと称していたことから、重油タンクでなく、ナフサ等の製品貯蔵用のタンクである。浮き屋根の地震時運動による側壁との摩擦熱が火災の原因であるとの現地の話であった。これらを含め、敷地内には175基の浮き屋根式タンクがあり、その半数以上につ

いて浮き屋根の修理を要したようである。これに対し、固定屋根式のタンクでは、側壁上部や屋根部に凹凸の残留変形が認められ、これらはスロッシングによる内液圧（腰掛圧）が原因と思われる。重油タンク（屋根なし）や球形ガスタンクには被害がなかった。また、全体にわたって、地盤・基礎の異常は見られなかった。

敷地内の管理棟の地表部に地震観測点（ポアジチ大学カンディリ地震観測所ヤルムカ地点）があり、強震記録（水平 322 Gal）は地震後の早い時期に同大学のホームページで公開され有名となった。敷地内で板たたき法による弾性波探査を行い、表層のせん断波速度の暫定値として約 380 m/s を得ており、比較的良好な地盤であることが確認された。

電力・水道施設の被害

現地での報道や、われわれの接触した大学研究者らの話では、ダム、火力発電所など発電施設の被害はなかったようである。被災地域では地震直後に停電したが、一般的に電気の復旧は早く、概ね当日中に地域への応急送電態勢が整えられたが、市内の建物倒壊などのため配電の復旧には時間を要しているところもある。

アダバザル変電所はアダバザル市を含むサカリヤ県への供給を担うこの地域での基幹変電所である。380 kV から 154 kV への変圧と複数の配電用変電所への送電を行う。アダバザル市南西部の丘の上に位置し、サカリヤ地震観測点に近い。現場の技師らへの聞き取りによれば、ここでは、遮断器 6 台のうちスウェーデン製 5 台が損傷し、残る 1 台（日本製）には被害がなかった。変圧器（重量 200 t、4 台）の基礎固定ボルトが切断し、基礎上から約 50 cm 移動した。

地震当日、100 名 2 交替で仮復旧し、午後 2 時には供給可能となった。調査団の訪問時点（9 月 7 日）で、遮

断器は新品に交換され、変圧器は応急修理済みであった。なお、送電鉄塔の倒壊は調査の範囲内で認められない。

水道施設については、送水管の被害と復旧状況に立ち会うことができた。アダバザルやギョルジェクなどの被害激基地では水道の復旧が容易に進まず、調査団の訪問時期においては、まだ給水車による市民への給水が行われていた。アダバザル市およびサパンジャ湖西岸のテペタラ駅近郊で地表にメインの断層が現れた場所で、鋼製の基幹送水管路の座屈や破断が見られた（写真-3）。また、アダバザル市内の主要道路では直径 400 mm の配水管（アスベスト製）に被害があり、それを埋め殺して、その脇に鋼管やダクタイル鋳鉄管を埋設する復旧工事の最中であった。しかし、管の種類や径が合わないなど、工事が難航している様子であった。

港湾施設の被害

トルコ共和国には 15 の主要公共港、30 の小規模地方港および 35 の特別民間港があり、運輸鉄道・港湾・空港建設総局（DLH）が管轄している。これらの港湾は旧式化しているものが多いが、経済の成長もあって取り扱い貨物量は増大傾向にある。

イズミット湾奥部の震源に近いデリンシェー港は、年間 600 隻、約 200 万トンの荷役量の重要港湾である。被害の大きかった岸壁はセルラーブロックによる岸壁であり、海側へ最大 0.7 m 移動しているがブロックの倒壊は起きておらず、法線を保っている。背後地盤は約 0.5 m 沈下しており噴砂が見られた。岸壁断面はセルラーブロックを積んだものであり設計震度はかなり小さいと推定されるが、ブロックは斜めに積まれており 3 次元的な拘束により倒壊を免れた可能性がある。岸壁上に設置されていたアンローダー（剛脚スパン 5.5 m、5 t）が陸側に倒壊しており、他の 6 機は脱輪、1 機は岸壁上に固定されており無被害であった。脚スパン 5.5 m で 0.5 m 程度の陸側沈下では静的に安定であることから、地震時に陸側脚の沈下とロッキングにより倒壊、脱輪したものと思われる。鋼管および鋼管矢板による岸壁は、それ自体は無被害であったが、背後地盤は 0.5 m 程度沈下しており、これに伴うベルトコンベアー基礎の被害、アンローダーの脱輪などが見られた。

交通施設の被害

道路施設では、サパンジャに近いアリフィエ橋（高速道路のオーバークロッシング）（写真-4）、トヨタ病院近くの橋（サカリヤ川の横断橋）（写真-5）が同一の断層運



写真-3 テペタラ駅における鋼製の基幹送水管の座屈
（破損したものが地面に仮置きされている）



写真-4 アリフィエ橋（高速道路のオーバークロッシング）の落橋



写真-5 アリフィエ・サカリヤ川横断橋の落橋



写真-6 栈橋に取り付く橋の沈下

動によって落橋した。この地区では、他にも桁移動制限装置、橋台パラペット、桁、支承等のさまざまな被害が生じている。

また、イズミット市周辺の製紙工場においては、橋脚のせん断耐力が不足したために起こったせん断破壊によ



写真-7 テベタラ駅周辺の鉄道線路の湾曲
(出典：<http://193.140.203.16/geophy/IZMIT/esen/seking.html>)

り、栈橋に取り付く橋の沈下が生じた（写真-6）。

鉄道施設としては、サパンジャ湖周辺の3カ所において、同一の断層が軌道を横断し、このため軌道の蛇行が生じた。いずれも現在は復旧されているが、まだ軌道に湾曲を残したまま復旧された箇所がある。撤去されたレールは大きく蛇行し、コンクリート製枕木も中央部分で鉄筋が露出するほど損傷を受けている（写真-7）。

上記のように、今回の地震では、道路施設、鉄道施設に大きな被害をもたらした原因は断層変位である。被害を受けた施設の周辺で実測できた断層変位は、最大で4.3 mに及んでおり、こうした地盤変位を受けて、基礎が移動し、下部構造を移動させたり、引き倒したりした結果、橋梁の被害が生じており、また、直接断層変位が線路を横断した結果、軌道の蛇行が生じている。

おわりに

土木学会調査団では調査結果に基づく英文報告書を執筆中であり、この学会誌が刊行される頃には完成の予定である。また、その後に3学会合同の報告書を刊行の計画である。

なお、現地調査にかかわる共通費用として、岡本・国分基金からの寄付を原資とする「土木学会学術文化事業」助成を受けたことを記し、謝意を表します。

引用文献

平成11年度土木学会全国大会・トルコ地震調査報告会資料、土木学会、1999.9.23

土木学会調査団

濱田政則（団長、早稲田大学）、当麻純一*（副団長、電力中央研究所）、五十嵐俊一*（構造品質保証研究所）、磯山龍二*（日本技術開発）、香川敬生（大阪土質試験所）、川島一彦（東京工業大学）、清野純史（京都大学）、志波由紀夫*（科学技術庁）、菅野高弘（運輸省）、鈴木浩平（東京都立大学、機械学会から特別参加）、田中 聡（京都大学）、橋本隆雄*（千代田コンサルタント）、宮島昌克（金沢大学）、アイダン・オメール（東海大学）、ゴクチェ・アハメット（新潟大学）

* 幹事