

トルコ共和国

トルコ共和国
鉄道の防災機能強化にかかる
情報収集・確認調査
【QCBS—ランプサム型】
最終報告書

2025 年 5 月

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

日本コンサルタンツ株式会社
東日本旅客鉄道株式会社
日本工営株式会社

社基

JR

25-087



トルコ共和国・調査対象地域図および諸元



出典: Nation Online Projec

面積：	78 万 576 平方キロメートル（日本の約 2 倍）	主要産業：	
人口：	8527 万 9553 人（2022 年、トルコ国家統計庁）	主要貿易品目：	(1) 輸出 自動車・部品（11.1%）、機械類（9.2%）、鉄鋼（7.6%）、電気機器・部品（5.3%） (2) 輸入 燃料および鉱物油類（18.7%）、機械類（11.4%）、鉄鋼（10.2%）、電気機器・部品（7.4%）
首都：	アンカラ	注：トルコ国家統計庁発表の 2021 年基準項目ごとの輸出・輸入数値により算出	
民族：	トルコ人 （南東部を中心にクルド人、その他アルメニア人、ギリシャ人、ユダヤ人等）	主要貿易相手国：	(1) 輸出 ドイツ（8.6%）、米国（6.5%）、英国（6.1%）…日本（0.2%、第 71 位） (2) 輸入 中国（11.9%）、ロシア（10.7%）、ドイツ（8.0%）…日本（1.6%、第 14 位）
言語：	トルコ語（公用語）	注：トルコ国家統計庁 2021 年）	
宗教：	イスラム教（スンニ派、アレヴィー派）が大部分を占める。その他ギリシャ正教徒、アルメニア正教徒、ユダヤ教徒等。	通貨：	トルコ・リラ（TL）=約 4.8 円（2024 年 1 月時点）
政体：	共和制	在留邦人数：	1,765 名（外務省海外在留邦人数調査統計 2021 年 10 月）
GDP：	9,055 億ドル	在留当該国人数：	5,963 名（2022 年 6 月末 在留外国人統計（法務省））
一人当 GDP：	10,655 ドル	主な二国間協定（日トルコ間）	(1) 有償資金協力 6,972 億円（2020 年度までの累計：借款契約ベース） (2) 無償資金協力 53.07 億円（2020 年度までの累計：交換公文ベース） (3) 技術協力 466.95 億円（2020 年度までの累計：JICA 経費実績ベース）
経済成長率：	5.6%		
失業率：	10.3%		
総貿易額：	(1) 輸出 2,542 億ドル (2) 輸入 3,637 億ドル		
外務省「トルコ共和国基礎データ」（2024 年 12 月 1 日閲覧）を基に提案者作成			

要約版

第1章 調査の背景・実施目的

1.1 本調査の背景

2023 年 2 月のトルコ・シリア地震の被害を受け、JICA は国際緊急援助隊を派遣し、トルコ国鉄（TCDD）から鉄道施設復旧の技術支援が求められていることを確認した。その後、JICA、日本コンサルタンツ（JIC）、JR 東日本が共同で 2023 年 5 月に現地調査を実施し、被災箇所の復旧方針についてコンサルテーションを行った。

調査結果から、トルコの防災基準の整備や鉄道防災システム構築の要望が明らかになり、日本の鉄道防災技術の紹介や技術支援の必要性、本邦企業のビジネス展開の可能性も示された。これらを踏まえ、TCDD の防災機能強化のための課題解決策や将来の協力展開を検討する本調査が実施されることとなった。

1.2 調査実施目的

本調査においては、1.鉄道防災システムの構築に関する調査（パイロット実証実験を含む）、2.鉄道防災に関する基準類の調査、3.構造物の復旧状況の把握と復旧対応に関する助言を実施することとして、それぞれの調査項目に対して実施目的を設定した。

1.3 調査スケジュール

本調査は 2023 年 12 月から開始され、2025 年 6 月 30 日までを実施期間とした。現地渡航は 6 回におよび、各渡航においては関連機関へのヒアリング、実証実験のための現地調査等を行った。実証実験は 2025 年 1 月から開始され、2025 年 5 月末までを実証実験期間とした。

1.4 トルコ国鉄（TCDD）の現状

トルコの鉄道網（都市鉄道を除く）は 1858 年に最初の路線が開業し、その後外国による投資として整備がすすめられた後に、1927 年に国有化された。現在は欧州仕様の高速鉄道と、非電化区間を含む在来線が存在する。運営維持管理はインフラ管理者としての TCDD、運行事業者としての TCDD Transport が存在し、上下分離を果たしている。TCDD は交通関係の監理を担う運輸インフラ省の関連機関として、その下部に位置づけられる。

トルコにおける運輸セクターのモード別分担率では 2020 年時点で、旅客 2.7%、貨物 4.5%を鉄道が担っている。すなわち、トルコの都市間移動、輸送において鉄道は主たるモードとして選定されていない現状がある。

1.5 トルコの都市鉄道の概要

2024 年 4 月現在、イスタンブール、アンカラ、ブルサ、イズミル、アダナの 5 都市に地下鉄が敷設されている。イスタンブール、アンカラ、イズミルには近郊通勤線が敷設されている。

調査団は、TCDD や都市鉄道システムとのベンチマークを行うため、本章でアンカラとイスタンブールの地下鉄システムの概要を調査した。

1.6 世界銀行等の他ドナーによる支援状況等のレビュー

本震災について、世界銀行（WB）、国連開発計画（UNDP）等の国際機関が、鉄道に特化した復旧支援の必要性の提言は、確認できなかった。

一方で WB、アジアインフラ投資銀行（AIIB）等が協調融資でジョージア国境からトルコを經由し、欧州方面への貨物輸送路を確保することを目的とした既存線リハビリのプロジェクトを実施してい

ることが確認できた。なお当該のプロジェクトでは当初、早期検知警報システムを含むコンポーネントが検討されたものの、一旦中止となった。これは投資効果が不透明であり、WB の意思決定が出来なかったとのことであった。

1.7 トルコにおける自然災害観測網の現状

トルコにおいては気象災害や地震等の災害について、観測検知を行っている省庁が存在し、基本的なモニタリングは実施されていることが確認できた。他方でそれらは鉄道 O&M には活用されていないことも確認された。

	農業・森林省 国家水利庁 (DSI)	内務省 災害緊急事態対策庁 (AFAD)	環境都市気候変動省 気象総局 (MGM)
役割	- 河川洪水情報の集約 - 水害モニタリング - 河川管理 - ダムの維持管理	- 地震観測 - 自然災害時の緊急対応の実施 - 緊急対応時の関係機関の調整	- 気象観測・予報の実施 - 気象観測データの公開 - 気象観測データの販売 (民生利用向け)
機器類	✓ 水位計 ✓ 加速度計 ✓ 河川水位観測網がある (詳細は不明)	✓ 地震計 ✓ 防災情報を集約するコントロールセンター	✓ 雨量計 ✓ 気象レーダー ✓ 自動観測所

注:赤字は観測・検知系の業務

図 1 自然災害観測網と所管する官庁の概要

第2章 鉄道沿線の災害リスク

2.1 トルコにおける災害リスク

自然災害を発生させるリスクについて、トルコにおける過去調査等の確認を試みた。トルコ政府の統計によれば、過去の自然災害により崩壊した建物の 90%以上を地震、土砂崩れ（地すべり）、洪水および落石による被害が占めている。また、トルコ気象総局（MGM）の統計によると、トルコ国内では、2022 年と 2023 年にそれぞれ 1032 件、1475 件の気象災害が発生しており、件数は近年増加傾向にある。このうち、大雨洪水が 3～4 割を占めている。

2.2 実証実験に向けた災害リスクスクリーニングの実施

2024 年 2 月の現地渡航にて、TCDD と災害リスクに関する意見交換を行い、斜面崩壊や豪雨による冠水災害が頻発していること、鉄道防災システム構築において優先すべき災害は、「斜面崩壊」「落石災害」「線路冠水」となることを確認した。

TCDD との調整のうえ、実証実験の線区としては、豪雨災害や落石災害が頻発しているトルコ北部のカラビュック～フィリヨス間が選ばれた。当線区における現地確認では、落石防護工や落石防護ネットなどの対策が行われているものの、限られた予算の中でハード対策にも限界があり、センサー等の鉄道防災システムの活用可能性が確認された。

また、実証実験について、TCDD からのリクエストをふまえ、コンヤ・カラマン地域のシンクホールリスクが高まっている高速鉄道線区でも追加で行うこととなった。この線区が通るコンヤ県・カラマン県ではシンクホールの発生数が近年増加しており、発生箇所の範囲も広がっている。このため、高速鉄道線路沿いでのシンクホール発生が懸念されている。

2.3 過去に自然災害によって発生した鉄道事故

過去にトルコ国内において発生した自然災害に起因する鉄道事故について、確認を試みた。トルコの運輸安全調査センター（UEIM）による資料によれば、2015 年以降、トルコで発生した自然災害に起因する鉄道事故は 2 件であった。ただし UEIM によれば、統計が補足している件数は、鉄道事故として定義される事象のみであり、ニアミスの事例は更に多い可能性が高いとのことであった。

上記 2 件は、落石に伴う脱線と道床流出に伴う脱線事故であった。このことから、既にトルコにおいて、落石や線路冠水等はリスクとして顕在化していると考えられる。

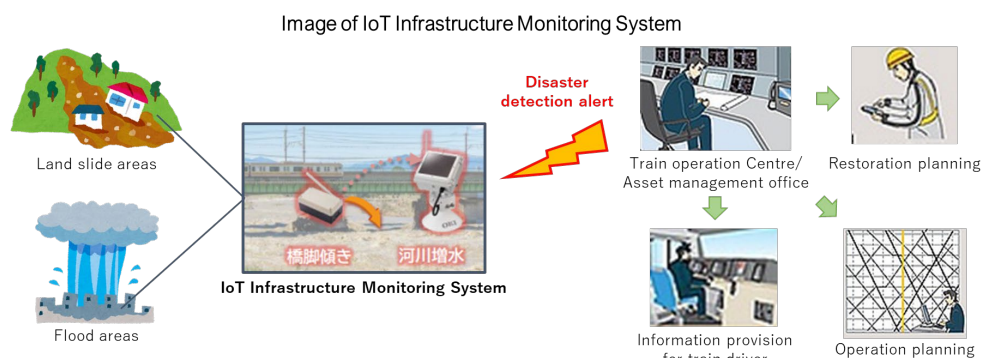
第3章 鉄道防災システムの内容・仕様の検討

3.1 システムの内容

JR 東日本では防災システムとして防災情報システム（以下：プレダス）を日本国内に設置している。これは、自然災害を検知するために鉄道沿線に設置されている地震計、風速計、落石検知装置などの防災用観測機器のデータを指令に伝送し、速度規制や運転中止などの規制発令および警報鳴動するシステムである。あわせて、規制発令後の線路設備・土木設備の点検業務の管理も可能となっている。

ただ、本調査ではそのままでシステムをトルコに構築することが難しいため、より簡易的なシステムを採用した。このシステムは電池またはソーラー発電による駆動、および、無線ネットワークによるデータ伝送に対応することにより、電源、配線を不要とし、導入容易性が確保される。

また、傾斜や水位の計測、および、画像の撮影における十分な性能、屋外の現場でも長期運用が可能な耐環境性、および、システムの安定稼働といった高い信頼性があるものを条件とした。本調査で導入するシステムの構成図を図 2 に示す。



出典:調査団作成

図 2 本調査において設置する防災システムの構成図

3.2 機器の仕様

本調査では、斜面崩壊、落石災害、豪雨による河川氾濫の対策を目的として、鉄道防災システムを導入する。そのシステム構築にあたり適切な仕様を指定し、機器を選定した。機器は、加速度センサー、高感度カメラ、超音波式水位計測装置の 3 種類を使用した。

3.3 防災システムの導入等に向けた課題

TCDD では鉄道防災システムの運用実績がないため、災害発生時の運行規制ガイドライン等基準類の整備が課題となる。本課題に対して、今後ガイドラインを整備する際に考慮すべき事項を以下に

示した。

- ・ 鉄道運行規制ガイドライン等既存の基準類の把握
- ・ 構造物の情報取得
- ・ 地質などの周辺環境の情報取得
- ・ 技術的検討を行う機関の有無

第4章 パイロット実証実験

4.1 実施内容

4.1.1 斜面崩壊検知

落石または土砂崩壊の恐れがある斜面に、目視確認用の定点カメラと、複数の加速度センサーを設置した。加速度センサーがある一定の値（閾値）を超えて異常を検知した場合、管理箇所へ警告（アラート）を発出する。またそれと同時に、通信頻度をあらかじめセットしておいた回数に増やす。（例：平時 1 時間に 1 回→5 分に 1 回）

4.1.2 河川水位検知

洪水に対する鉄道防災システムは、落石・斜面崩壊を検知する防災システムと同様に、目視確認用の定点カメラに加えて、カルバートや橋脚に水量を計測する水位計を設置する。水位計がある一定の値（閾値）を超えて異常を検知した場合、管理箇所へ警告（アラート）を発出する。またそれと同時に、通信頻度をあらかじめセットしておいた回数に増やす。（例：平時 1 時間に 1 回→5 分に 1 回）

4.1.3 シンクホール発生検知

シンクホールが発生するリスクが高い線路沿線に、目視確認用の定点カメラ（例：通常時 6 時間間隔での静止画撮影）と、複数の加速度センサーを設置した。斜面崩壊検知と同様に、加速度センサーがある一定の値（閾値）を超えて異常を検知した場合、管理箇所へ警告（アラート）を発出する。またそれと同時に、通信頻度をあらかじめセットしておいた回数に増やす。（例：平時 1 時間に 1 回→5 分に 1 回）こちらも表示端末を共通化することが可能となる。

4.2 実証実験実施区間の選定

本調査では、災害スクリーニングを実施したカラビュック～フィリヨス間、およびアンカラ～カマン間（高速鉄道線）において実証実験を実施した。

4.3 実証実験計画

TCDD 現地事務所のメンテナンスチームと共に対象区間を巡視し、リスクが高いかつ、モニタリングの効果が高いと思われる候補箇所を洗い出し、日本国内での分析・検討、また並行して現場での詳細調査・通信テストを 25 箇所行った。その結果下記に示す 8 箇所を選定した。

表 1 実証実験実施箇所一覧表

No.	対象構造物	災害種類	位置(駅間)	電波	施工性
6	岩壁②	落石	Bolkuş-Balıkısık	×→○※	○
9	切土斜面(整形・石積)	斜面崩壊	Gökçebey-Üçburgu	○	○

No.	対象構造物	災害種類	位置(駅間)	電波	施工性
15	カルバート(中規模)	線路冠水	Üçburgu- Bakacakkadı	○	○
21	素地①	シンクホール	Polatlı-Selçuklu	○	○
22	盛土	シンクホール	Polatlı-Selçuklu	○	○
23	素地②	シンクホール	Kayacık-Meydan	○	○
24	素地③	シンクホール	Kaşınhan-Çumra	○	○
25	素地④	シンクホール	Çumra-Karaman	△	○

※TCDD の働きかけにより電波改善

出典：調査団

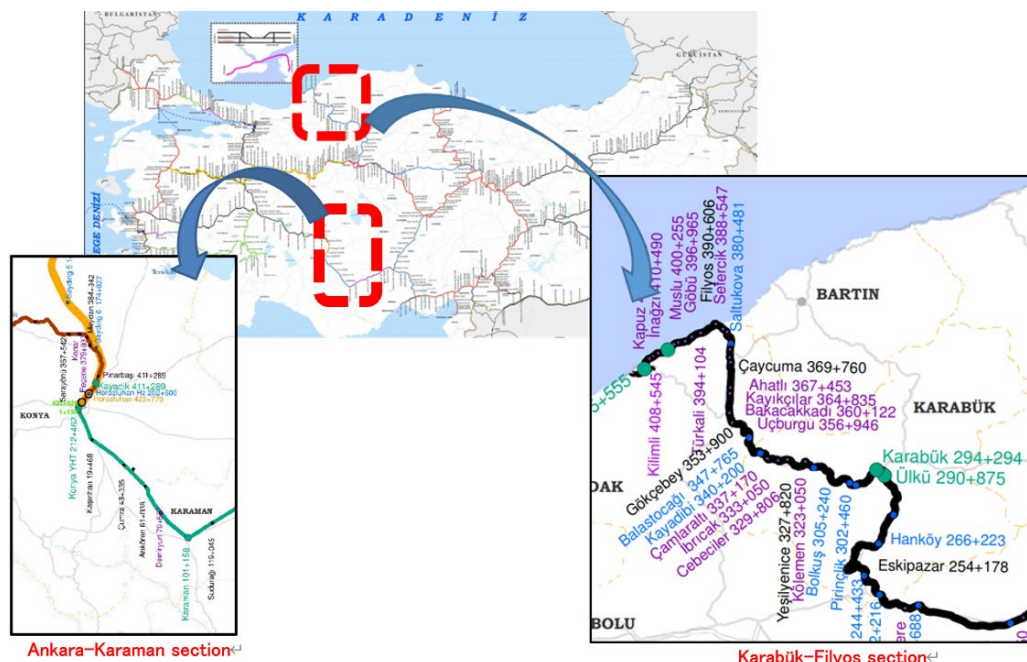
4.4 鉄道防災システムを整備するにあたってのトルコ国内の規制

トルコ国においては、EU 加盟国と同等の法令、規制への対応が求められ、機器はこれらに準拠する必要があります。例として、無線利用に関する規制、RoHS、REACH 等の含有禁止物質の規制などがあり、規制に対応した設計と試験の実施により、CE マーキングを宣言し、CE マークを付与する必要があります。

なお、実証実験においては、個別機器の現地輸入とせずカメラや加速度計を含む観測システムとして輸出を行うことで、CE マーキングの一部免除が可能であることが、TCDD との協議で確認された。TCDD は既に同様の方法で、他国から機器を試験導入したことがあるとのことであった。

4.5 実証実験期間の状況

2025 年 1 月及び 2 月にかけて設置作業を行った。設置は TCDD により現地作業員及び資機材の手配が行われ、調査団員は位置や設置方法の微調整、機器固定後のソフトセットアップを行った。



出典: TCDD 資料を基に調査団作成

図 3 機器設置位置図



出典:調査団

図 4 No.6 岩壁②の現場概況とモニタリングの様子（一例）

4.5.2 実証実験中において発生した事象とその対応

3月3日 23:40（現地時間）、No.6の落石検知に設置した加速度計から、線路と平行に22度、線路外方に6度の傾きを検知した。結果として列車影響はなかったが、落石自体は発生しており、落石検知が機能していたことが実証された。



出典:TCDD および調査団

図 5 No.6 落石事象発生前後の様子

4.6 実証実験から見えてきた課題

実証実験では本格導入に向けて解決が必要な課題が浮かび上がってきた。主な課題については以下の4つが挙げられた。

- (1) 閾値設定のための明確な基準の欠如
- (2) アラート手段
- (3) 異常検知時の初動体制及びマニュアル整備の不足
- (4) 検知装置復旧時の施工品質不良

第5章 トルコの防災法規、基準の現状および課題と今後の展望

5.1 防災関連法制度現状（トルコの国レベル）

トルコでは、災害緊急事態対策庁（AFAD）が災害リスク管理の中核機関として位置付けられている。AFADは1999年のマルマラ地震を契機に、2009年に設立され、現在は内務省の下に属している。国レベルでは、大統領が議長を務める「災害・緊急事態最高評議会」や、各省庁が参加する「災害・緊急事態調整ボード」が設置され、いずれもAFADが事務局を担当している。

県単位では、AFADが作成した雛形を基に「地方防災計画（IRAP）」が全81県で策定済みである。これは、JICAによる過去の協力成果も活用されている。IRAPでは自治体、民間、学識者など多様なステークホルダーが参画するものの、実施に係る法的拘束力や予算措置の課題が指摘されている。2024年から、30の大都市自治体を中心に、独自に災害対応を担う「Disaster Affairs Department」の設置が進められている。これはAFADに依存しない自治体主体の災害管理体制を目指すものだが、具体的な業務内容や組織体制はまだ十分に整備されておらず、AFADからの直接的な予算措置や支援も限定的である。

トルコの災害関連計画は、国家開発計画をベースにAFADが策定し、以下の4つが柱となっている。これらの計画では、仙台防災枠組（2015-2030）の優先事項が反映されており、特にTARAPは災害種別に応じた防災に関する目標や行動計画が詳細に定められている。

表2 トルコにおける国レベルの災害関連計画と策定状況

計画名	概要
TAYS(災害管理戦略文書)	国の災害管理の基本ビジョンを提示(2017年発効)
TARAP(防災計画)	災害リスクの最小化を目指す中長期計画(2022-2030年対象)
TAMP(災害対応計画)	災害発生時の各機関の役割と対応方針を明示(2014年初版、2022年改定)
TASIP(災害復興計画)	災害復興の迅速化と効率化を目指す計画(2023年発表)

出典: AFAD ホームページの情報をもとに調査団作成

5.2 日本の防災法規・基準の調査

日本の鉄道事業者は国土交通省の許認可に基づき、鉄道事業者本体が詳細に至る業務計画を策定・実行し、鉄道を運営するとともに、メーカーや工事業者等を指揮する形態を取っている。鉄道事業者は法的に建設から運営に至る鉄道に関する全ての責務を負っており、自ら実施する能力を有することが事業許可の条件となっている。また、鉄道施設が備えるべき性能および運用方法は、省令および解釈基準並びに実施基準で定められており、実際の鉄道施設はこれらの規程類に加えてJIS等の国内

規格に基づいて設計・工事施工・運用されている。

地震・豪雨・強風・大雪等の自然災害発生時の復旧作業・復旧費用、さらに防災・減災対策とも鉄道施設所有者（多くの場合鉄道事業者が該当）負担が原則である。近年の自然災害多発に伴い鉄道施設の被害の増大・激甚化する中で、鉄道の早期復旧など利用者目線に立った鉄道の防災・減災対策の一層の充実を図るため、平成 30 年に国土交通省から「鉄道の防災・減災対策」が発行された。この方針に基づき、鉄道施設総合安全対策事業費に対する補助に防災・減災対策に関連する内容が打ち出され、路線重要度と事業者規模に応じて浸水・豪雨・耐震・鉄道施設老朽化等の対策費用補助と鉄道施設災害復旧事業費に対する補助が実現している。

5.3 トルコの防災法規・基準の調査

トルコでは、運輸インフラ省 MOT のサービス規制総局 UDHGM が都市間鉄道すなわち TCDD グループを管轄し、UHDGM 内の鉄道運輸局が鉄道運営、鉄道認証局が技術的事項についてそれぞれ管轄する。TCDD グループは EU 各国に準じた上下分離運営形態を取っており、TCDD は鉄道認証局が定めた技術基準に従って鉄道施設を保有・管理する。TCDD Transport が車両と運営を担当し、TCDD に対して設備使用料を支払う。

TCDD は AFAD の防災計画には組み込まれておらず、独自に防災対策を実施している。雨量・震度等のセンサー類は TCDD で整備しており、MGM 等他機関とデータ連携されていない。災害発生時には、TCDD は自己資金によって鉄道施設を復旧する責務がある。2023 年の大地震では、トルコ国家非常事態宣言に基づく予算措置によって、MOT 経由で TCDD に復旧費用が割り当てられた。

一方、アンカラ・イスタンブール等の都市鉄道は大都市圏自治体の一部局として鉄道施設と運営が一体化されており、MOT の管轄下に入っていない。鉄道の技術基準はそれぞれの大都市圏自治体が定めているが、技術的内容は鉄道認証局に報告しているとのことであった。

都市鉄道の災害対策は大都市圏自治体の鉄道以外のセクションと共同で実施しており、AFAD および大都市圏自治体災害調整センター AKOM との協力体制が構築されている。雨量・地震等のセンサー類は大都市圏自治体費用で設置されたものを各セクションで共同利用しており、MGM 情報も活用している。災害復旧費用は大都市圏自治体が負担する。



出典：メトロイスタンブール

図 6 メトロイスタンブールが想定する緊急事態（自然災害以外も含む）

5.4 法令・規定整備にかかる課題

トルコにおける防災行政は、AFAD が一元的に担っており、国レベルの防災・減災計画として TARAP（防災減災計画）、県レベルの計画として IRAP（地方防災減災計画）が位置付けられている。さらに、災害復興の方向性を示す TASIP も整備されている。

IRAP は、災害種ごとのハザード分析を重視し、多くのステークホルダーを巻き込んだ幅広い施策が盛り込まれているものの、法的拘束力や予算的裏付けがないことが大きな課題となっている。このため、IRAP に基づく防災・減災施策の実施は進捗が限定的であり、中央政府主導による自治体の計画策定や実施は非効率との指摘がある。将来的には、自治体主導による計画策定を義務付ける法整備や、自治体の能力強化が求められている。2023 年 2 月の震災を契機に、防災・減災分野への関心は高まっており、第 12 次国家戦略計画では、IRAP の改定や大規模災害への備え、都市やインフラの強靱化、法体系の見直しなどが強調されている。

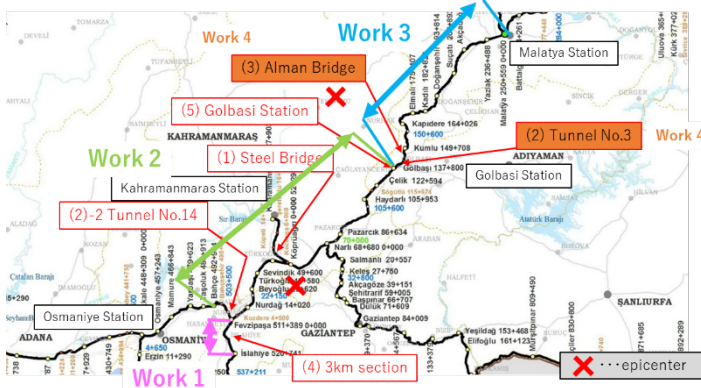
このように、トルコにおける国レベルでの防災行政は AFAD を中心として、法制度・組織共に着実に整備されてきている。アンカラメトロ・メトロイスタンブールといった都市鉄道は、大都市圏自治体の一組織として、国及び大都市圏自治体の防災体制に組み込まれて役割分担が定められており、災害の規模と内容に応じた防災対応が可能である。これに対して、TCDD は国レベルの防災体制の外側にあり、災害の検知から復旧まで自力での対処を求められている。

第6章 復旧の状況と現地における課題

6.1 復旧状況の把握

2023年2月6日4時17分と13時24分にトルコ南東部でアナトリア断層の大きな横ずれに伴う地震が発生した。影響範囲の鉄道営業線の距離は1275kmに及び、軌道の大きな変位が発生した。また、地震動により車両が脱線転覆した。

イスラヒエ、フェヴジパシャ、ナルル、ギョルバシュ、マラティヤを結ぶ路線はアナトリア断層に沿っていて、地すべり、落石、橋梁の損傷、トンネルの崩壊等が発生し、土木構造物の復旧を行わなければ運行を再開できないことから全区間で長期間にわたり運転を休止した。



出典：調査団

図 7 工事パッケージ (Work1~4)、主な構造物

TCDD には土木構造物の大規模な損傷が多数の箇所 で発生した経験がなく、構造物の復旧計画について日本に助言を求め、JR 東日本の技術者を含む調査団が、地震発生の 3 か月後に現地で調査を行った (2023 年 5 月調査)。トルコの技術者による復旧計画は日本の技術者から見ても同意できるものであったが、液状化対策や落石対策等については日本側から助言を行った。

本件の調査では、先の調査団が助言を行った構造物の復旧状況を調査した（2024年2月）。

表 3 助言を行った構造物と復旧状況

構造物	主な被害	主な原因	TCDD 復旧方針	助言等	施工結果 / 問題点
(2)トンネル	崩落	地すべり	NATM、開削	(同意)	NATM、開削
(3)アルマン橋	柱脚の断面欠損	地震力	RC 巻立て	(同意)	RC 巻立て / 水平変位抑制
(4)3km 区間	落石、盛土損傷	風化・地震動	検討中	落石防護工+検知センサー	防護工(コルゲート板トンネル)
(5)ギョルバシュ付近	軌道変位・沈下	地盤液状化	検討中	締切+注入による密実化	路床置換、コンクリート路盤

出典:調査団

工事は 2023 年 5 月の調査で日本側が同意した方針に従って進められていた。橋梁の RC 巻立てやトンネルの復旧等からトルコ国に十分な設計施工技術が蓄積されていることが分かった。しかし、アルマン橋の橋脚に施工されている上部工のずれ止めの設計施工などには日本側のイメージが伝わらなかった部分もあった。

TCDD で採用しているコルゲート鋼板を用いたトンネル型落石防護対策工は、落石があった場合に比較的小さいエネルギーで大きな変位を生じる可能性がある。電化区間において電車線をコルゲート鋼板から支持する計画については調査団から懸念を伝えた。

現地では構造物の復旧が完了しているが、路盤等の改修に時間がかかっている。この線区の開業は古く 1935 年であり、当時の構造基準は明確でなく、さらに現在の基準を満足していない。復旧に当り現在の基準に適合させるために全線にわたって路盤等の改修を行う必要があり、工事が長期化している。同区間は東部の鉱山から南部の 이스кенデルン 港を結ぶ最も貨物輸送量の多い路線であるが、休止期間中は貨物列車が別線を迂回運転 (500km 増) し、旅客列車 (1 往復のみ) は運転を休止している。

2025 年 2 月には復旧工事は 95%の進捗であり、ギョルバシュでの列車の運転開始が 2025 年 5 月末という報道がなされた。

6.2 復旧体制等における課題

震災後の初動については、TCDD は線路の点検を行い、軌道の修復を進めた。地震発生後の 2 週間後には、電力および信号の設備が整わないながらも対象区間の 1275km のうちおよそ 1160km の区間で車両の走行が可能な状況になった。

これは各地域の保守組織が自律的に復旧工事を行った結果であるが、高度な判断を伴う構造物が少なかったこともある。さらに言えば、本来応急処置が必要な施設がそのまま供用された可能性も否定できない。

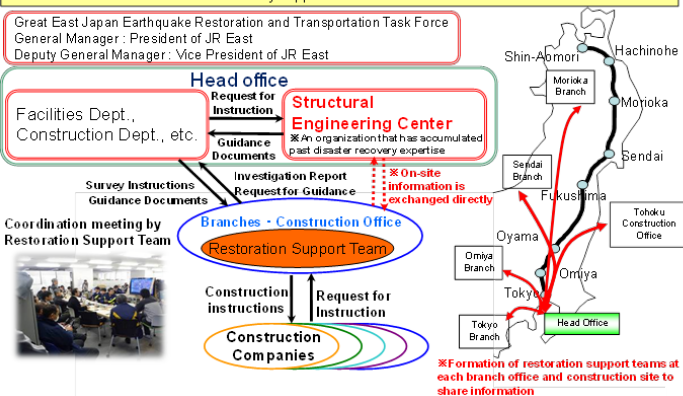
TCDD では高速鉄道のネットワークを拡充しており、高架橋やトンネルが急増している。利用者の伸びも著しく、迅速な災害復旧体制の構築が求められる。

JR 東日本ではエリアで大規模な地震が発生すると社員並びに協力会社社員によって施設の調査点検が開始される。調査点検は共通の判断基準資料を使用し、被災地の現地対策本部の指示により実施する。集約した情報は現地対策本部から本社対策本部の技術部門に一元的に送付され、本社対策本部

2. Consolidation of the disaster situation and restoration system

Restoration Organization

- Quickly establish a recovery organization that gathers information and centralizes recovery methods
- Formation of cross-functional recovery support teams



出典:調査団

図 8 JR 東日本の構造物復旧体制

では経営的な判断と技術的な判断を行い、現地対策本部への指示を行う。TCDD ではこのような体制が定まっていないため、JR 東日本の対策本部を参考に体制を制定することを提案する。対策本部のポイントは以下のとおりである。

a.) 経験の蓄積とこれに裏付けられた技術力

JR 東日本の構造技術センターに当たる技術力の高い組織を設立し、さらに災害への対応の経験の蓄積を行うことが必要である。

b.) 復旧組織の体制制定と早期立ち上げ

災害対策本部等の復旧組織の体制の制定と復旧組織の早期立ち上げは、構造物の復旧だけでなく、救護、資源配分等あらゆる情報の活用が必要である。定期的な参集訓練や組織間の連絡訓練も必要。

c.) 復旧方針の早期決定

線区の重要度等による仮／本復旧等の判断には経営的な判断が必要であり、技術組織が全社的な本部の内部に設置され、迅速な判断を行うことが必要である。

d.) 指揮命令系統が明確な組織の構築

災害時の指示の混乱を防ぐため、災害対策本部の立上げとともに、指揮命令系統の確認や最新通信技術の導入による見直しを常に行うことが必要である。

e.) 組織間の協力による早期復旧

トルコでは災害直後においては AFAD を中心に行政組織や TCDD を含むインフラ組織が協力を行い、人命救助や安全の確保を行っている。しかし、その後の長期復旧段階については組織間の協力が不足している印象が強いため、是正が必要である。日本の近年の取り組みでは道路、河川、鉄道の関係者により、総合的な復旧工程の検討が行われ、全体工期の短縮およびコストの削減を実現している。

第7章 まとめ

7.1 トルコ国における課題

防災システムに関する課題については、O&M の主体である TCDD のみならず、規制当局や関係官庁も O&M の強化について必要性を認識しており、防災システムが無いこと、防災システムのようなシステムを活用する前提となる組織体制がないことが課題である。またトルコ国のアセットとして存在する既存観測網を、十分に活用していないことも課題であり、トルコ国内でも UEIM (Transport Safety Investigation Center) が課題として挙げている。

法令基準等については、トルコでは、国および県レベルで一部事前防災計画や対応方針が存在するが、その法的実効性や整備状況は限定的であり、主に災害発生後の対応計画に重点が置かれている。また、鉄道復旧を含むインフラ防災の観点が明確に含まれていないことが判明した。

このため、災害発生時には地域自治体と地域の AFAD が対応枠組みの中心となり、TCDD は基本的に自力で復旧を行う必要がある。また、一部都市鉄道事業者は定量的指標を用いた計画的な災害対応を行っているが、建設が比較的新しいため大規模災害復旧経験がなく、システム拡大に伴う早期運行再開の基準の妥当性が課題とされている。なお、復旧手順や資金補助スキームが未整備で、地方自治体や国の予算で対応することが必要とされる状況であることも判明した。

構造物復旧においては、2023 年 5 月調査団がトルコ側の要請により調査した箇所は橋梁やトンネル等の構造物に大きな損傷が生じていた。トルコ側で対応した結果、2024 年 2 月の本調査においては構造物の復旧が方針通りに勧められていることが確認された。今後高速鉄道の整備によりトンネ

ルや橋梁、高架橋といった構造物が増加すると、震災によって損傷を受ける構造物も増加する。このような中で多くの構造物の損傷診断や復旧方針の策定を迅速に行うことが課題になってくると推定される。

7.2 課題解決にむけた提言

先述の通り課題が存在するが、それらを克服するためには、事前防災としての構造物の強靱化とソフト対策を実施していくことが求められる。さらにそれらを実現する組織体制（人、ルール、仕組み）の拡充を含めて、中長期的な能力向上を図る必要がある。

本調査においては課題認識を踏まえ、中長期を含めた構造物強靱化、ソフト対策の実施、組織体制の強化の三領域における実施項目をまとめた。このうち、構造物強靱化についてはトルコ企業が実施していくものと推定され、日本企業の参画は限定的であると考えられる。ソフト対策については、日本企業の知見を活かしながら、ビジネスとしての O&M 支援に関与することが可能であると推測される。

なお組織体制強化については、民間企業のみでビジネスとして参画することは困難があると推定される。このため他ドナーを含めた支援スキームを活用しながら、日本企業の知見を活かしてそれらの支援事業に関与していくことが検討可能である。

トルコ国鉄道の防災機能強化にかかる情報収集・確認調査 最終報告書

目 次

第 1 章	調査の背景・実施目的.....	1-1
1.1	本調査の背景.....	1-1
1.2	調査実施目的.....	1-1
1.3	調査スケジュール.....	1-2
1.4	トルコ国鉄の現状.....	1-5
1.5	トルコの都市鉄道の概要.....	1-9
1.6	世界銀行等の他ドナーによる支援状況等のレビュー.....	1-11
1.7	トルコにおける、自然災害観測網の現状.....	1-13
第 2 章	鉄道沿線の災害リスク.....	2-1
2.1	トルコにおける災害リスク.....	2-1
2.2	実証実験に向けた災害リスクスクリーニングの実施.....	2-3
2.2.1	TCDD のカラビュック～フィリョス間における災害リスクスクリーニング 2-3	
2.2.2	コンヤ地区におけるシンクホールのもたらすリスク.....	2-10
2.3	過去に自然災害によって発生した鉄道事故.....	2-13
第 3 章	鉄道防災システムの内容・仕様の検討.....	3-1
3.1	システムの内容.....	3-1
3.2	機器の仕様.....	3-2
3.3	防災システムの導入等に向けた課題.....	3-6
3.3.1	TCDD における課題.....	3-6
3.3.2	機器における課題.....	3-6
第 4 章	パイロット実証実験.....	4-1
4.1	実施内容.....	4-1
4.1.1	斜面崩壊検知.....	4-1
4.1.2	河川水位検知.....	4-1
4.1.3	シンクホール発生検知.....	4-2
4.2	実証実験実施区間の選定.....	4-3
4.2.1	実証実験実施箇所の選定における検討項目.....	4-3
4.2.2	実証実験対象線区の状況.....	4-3
4.3	実証実験計画.....	4-5
4.3.1	設置箇所選定の結果.....	4-5
4.3.2	設置箇所の詳細.....	4-7
4.3.3	設置計画図.....	4-10
4.4	鉄道防災システムを整備するにあたってのトルコ国内の規制.....	4-15

4.5	実証実験期間の状況.....	4-16
4.5.1	動作状況.....	4-21
4.5.2	実証実験中において発生した事象とその対応	4-22
4.5.3	実証実験から見えてきた課題	4-26
第 5 章	トルコの防災法規、基準の現状および課題と今後の展望	5-1
5.1	防災関連法制度現状（トルコの国レベル）	5-1
5.1.1	トルコにおける防災関連法制度	5-1
5.1.2	トルコの災害リスク管理に係る実施体制.....	5-2
5.1.3	トルコの災害リスク管理に係る政策	5-3
5.2	日本の防災法規・基準の調査.....	5-5
5.2.1	日本の鉄道の技術基準.....	5-5
5.2.2	日本における災害発生時の復旧費用分担.....	5-8
5.3	トルコの防災法規・基準の調査.....	5-12
5.3.1	トルコ運輸インフラ省サービス規制総局（UHDGM）	5-12
5.3.2	トルコ国鉄（TCDD）	5-16
5.3.3	都市鉄道.....	5-18
5.4	法令・規定整備にかかる課題.....	5-27
第 6 章	復旧の状況と現地における課題	6-1
6.1	復旧状況の把握.....	6-1
6.1.1	2023 年トルコ・シリア地震の概要.....	6-1
6.1.2	被災により運休している鉄道区間.....	6-3
6.1.3	2023 年 5 月調査において復旧に向けた提案を行った被災鉄道構造物 ..	6-5
6.1.4	2023 年 5 月調査で提案を行った被災鉄道構造物の復旧状況.....	6-7
6.1.5	2024 年 2 月調査時点における工事の課題.....	6-16
6.1.6	TCDD による工事の課題解決.....	6-16
6.1.7	落石対策（ロックシェッド）の構造の選定について.....	6-18
6.2	復旧体制等における課題	6-28
6.2.1	初動について.....	6-28
6.2.2	長期復旧工事の内容.....	6-29
6.2.3	トルコ・シリア地震後の震災復旧工事の課題	6-32
6.2.4	日本における復旧体制	6-32
6.2.5	復旧体制における課題.....	6-34
第 7 章	まとめ	7-1
7.1	トルコ国における課題.....	7-1
7.2	課題解決にむけた提言	7-3

図目次

図 1-1	調査実施スケジュール.....	1-2
図 1-2	第一回目渡航での活動（左：実証実験予定地調査・右：シェアリングセッション）.....	1-3
図 1-3	第二回目渡航でのヒアリング（左：MGM：右：UHDGM）.....	1-4
図 1-4	TCDD の有する路線網.....	1-6
図 1-5	TCDD と運輸インフラ省の位置づけ.....	1-6
図 1-6	TCDD の役割分担および各出資会社の位置づけ.....	1-7
図 1-7	TCDD における年間の車両重量を含む通過総トンkm（貨物輸送）.....	1-7
図 1-8	Velaro をベースとした高速鉄道車両（TCDD HT80000）.....	1-9
図 1-9	アンカラ地下鉄路線図.....	1-10
図 1-10	イスタンブール地下鉄路線（2024 年）.....	1-11
図 1-11	自然災害観測網と所管する官庁の概要.....	1-14
図 1-12	AFAD の有する地震計ネットワーク.....	1-15
図 1-13	WMO の公開する気象レーダーのネットワーク.....	1-17
図 2-1	最近 100 年間の自然災害による建物被害.....	2-1
図 2-2	2022 年における気象災害件数の内訳.....	2-1
図 2-3	2023 年における気象災害件数の内訳.....	2-2
図 2-4	トルコにおける大雨洪水の発生件数の推移（1940 年～2022 年）.....	2-2
図 2-5	TCDD との情報共有セッション.....	2-3
図 2-6	実証実験対象線区と行政地域区分.....	2-4
図 2-7	カラビュックでのヒアリング.....	2-4
図 2-8	100 年前施工の落石防護工.....	2-5
図 2-9	TCDD による落石防護工設置.....	2-5
図 2-10	切取区間および河川に沿う山岳路線.....	2-6
図 2-11	地すべり目録地図による地すべり箇所.....	2-6
図 2-12	地質図による地質区分.....	2-7
図 2-13	1977 年 3 月 上越線津久田・岩本駅間 脱線事故の様子.....	2-7
図 2-14	当該区間沿線の標高.....	2-8
図 2-15	トルコにおける年間降雨量（1991 年～2020 年の平均）.....	2-9
図 2-16	トルコにおけるケッペンの気候区分（1991 年～2020 年）.....	2-9
図 2-17	カラビュック県における月ごとの降水量ならびに降雨日数.....	2-10
図 2-18	ゾングルダク県における月ごとの降水量ならびに降雨日数.....	2-10
図 2-19	シンクホールの例（コンヤ県のカラプナル（Karapınar）地区）.....	2-11
図 2-20	コンヤ・カラマンの位置.....	2-11
図 2-21	コンヤ・カラマン周辺の地質図.....	2-12
図 2-22	事故発生箇所（2016 年）.....	2-13
図 2-23	車両等への被害状況.....	2-14
図 2-24	カラビュックの CTC センターにおける事故当時の故障記録.....	2-15
図 2-25	指令員による停止信号への進入許可記録.....	2-15

図 2-26	事故発生箇所（2018 年）	2-16
図 2-27	事故後の状況.....	2-17
図 2-28	事故直後のカルバート.....	2-17
図 3-1	プレダスの概要.....	3-1
図 3-2	本調査において設置する防災システムの構成図.....	3-2
図 4-1	斜面崩壊検知装置のイメージ.....	4-1
図 4-2	河川水位検知装置のイメージ.....	4-2
図 4-3	シンクホール発生検知装置のイメージ.....	4-2
図 4-4	実証実験対象線区の位置.....	4-3
図 4-5	調査実施箇所位置図（カラビュック～フィリヨス間）	4-6
図 4-6	調査実施箇所位置図（アンカラ～カラマン間）	4-6
図 4-7	対象の岩壁.....	4-7
図 4-8	すべり面の想定.....	4-8
図 4-9	冠水範囲の想定.....	4-8
図 4-10	コンヤ地区で発生したシンクホール.....	4-9
図 4-11	コンヤ地区で確認されたシンクホールの数の推移.....	4-9
図 4-12	シンクホール発生のメカニズムと検知の仕組み.....	4-10
図 4-13	落石検知網設置計画図.....	4-10
図 4-14	切土斜面のモニタリング計画図.....	4-11
図 4-15	傾斜計設置計画図.....	4-11
図 4-16	水位計設置計画図.....	4-12
図 4-17	加速度計設置計画図（No.21）	4-12
図 4-18	加速度計設置計画図（No.21-2）	4-13
図 4-19	加速度計設置計画図（No.22）	4-13
図 4-20	加速度計設置計画図（No.23）	4-14
図 4-21	加速度計設置計画図（No.24）	4-14
図 4-22	加速度計設置計画図（No.25）	4-15
図 4-23	カラビュックエリアの機器設置位置図.....	4-17
図 4-24	No.6 岩壁②設置状況.....	4-17
図 4-25	No.9 切土斜面（整形・石積）設置状況.....	4-18
図 4-26	No.15 カルバート（中規模）設置状況.....	4-18
図 4-27	コンヤエリアの機器設置位置図.....	4-19
図 4-28	No.21 素地①（シンクホール）設置状況.....	4-19
図 4-29	No.22 盛土（シンクホール）設置状況.....	4-20
図 4-30	No.23 素地②（シンクホール）設置状況.....	4-20
図 4-31	No.24 素地③（シンクホール）設置状況.....	4-21
図 4-32	No.25 素地④（シンクホール）設置状況.....	4-21
図 4-33	現地地図（左）と加速度計設置ポールの状態（右）	4-23
図 4-34	軌道内の状態.....	4-24
図 4-35	設置時点（左：調査団提供）と事象発生後（右：TCDD 提供）の差異	4-24

図 4-36	仮復旧時の状況（TCDD 提供に調査団が加筆）	4-25
図 5-1	トルコにおける国レベルの防災計画と策定状況	5-4
図 5-2	鉄道事業法の体系	5-6
図 5-3	日本の鉄道運営形態	5-7
図 5-4	省令・解釈基準・実施基準・解説の関係（国土交通省鉄道局）	5-8
図 5-5	鉄道の浸水対策	5-10
図 5-6	鉄道の豪雨対策	5-10
図 5-7	鉄道の震災対策	5-11
図 5-8	鉄道施設老朽対策	5-11
図 5-9	鉄道施設災害復旧事業費補助制度	5-12
図 5-10	運輸インフラ省サービス規制総局（UHDGM）組織図	5-13
図 5-11	2017 年以降のトルコ鉄道組織	5-16
図 5-12	EGO 視察（左：運行管理センター：右：車庫）	5-21
図 5-13	メトロイスタンブールが想定する緊急事態（自然災害以外も含む）	5-24
図 5-14	AFAD・AKOM・MI の関係	5-24
図 5-15	災害発生時の政府・地方自治体の役割	5-25
図 5-16	メトロイスタンブールにおける地震発生時の運転規制	5-25
図 6-1	トルコ・シリア地震の震源	6-1
図 6-2	地震による脱線（左：ギョルバシュ駅、右：フェヴジパシャ駅）	6-2
図 6-3	フェヴジパシャ駅付近における落石・崩落による被害	6-3
図 6-4	震災による運行休止中の路線	6-4
図 6-5	軌道を再敷設済の区間	6-5
図 6-6	再敷設のマクラギ配置前とみられる様子	6-5
図 6-7	軌道が撤去された踏切隣接部	6-5
図 6-8	地震によるひび割れの残る建物	6-5
図 6-9	調査対象箇所	6-6
図 6-10	ギョルバシュ駅付近の大きく変形した軌道	6-8
図 6-11	ギョルバシュ駅マラティア方の路盤の復旧状況	6-8
図 6-12	ギョルバシュ駅中心付近の路床置換えとみられる様子	6-8
図 6-13	NATM 区間（終点方に向かって）	6-9
図 6-14	NATM 区間と開削区間接続部（手前が NATM）	6-9
図 6-15	終点方開削トンネル坑口	6-9
図 6-16	No.3 トンネル NATM 部分の図面	6-9
図 6-17	橋脚橋梁全体	6-11
図 6-18	C 橋脚の外観（左：復旧前、右：復旧後）	6-11
図 6-19	コルゲートトンネル全景（160km 付近）	6-12
図 6-20	コルゲートトンネルによる落石対策	6-12
図 6-21	コルゲートトンネルによる落石対策の図面	6-12
図 6-22	3 km 区間の軌道撤去状況	6-13
図 6-23	植物の根による風化の加速	6-13

図 6-24	転石が目立つ斜面.....	6-14
図 6-25	落石防護網と落石.....	6-14
図 6-26	巨大な落石.....	6-14
図 6-27	倒壊した土留め壁.....	6-15
図 6-28	路盤の崩壊.....	6-15
図 6-29	発災直後のフェヴジパシャ構内南側の様子.....	6-15
図 6-30	フェヴジパシャ構内の地すべり対策計画.....	6-16
図 6-31	フェヴジパシャ構内の地すべり対策の擁壁.....	6-17
図 6-32	コルゲートトンネルと採用した落石防護工.....	6-17
図 6-33	落石防護工の適用範囲.....	6-18
図 6-34	コルゲートトンネル上部の砂利にできた水みち.....	6-19
図 6-35	砂利のこぼれ出し.....	6-19
図 6-36	頂版の 1m あたりの断面図.....	6-20
図 6-37	コルゲート鋼板の断面.....	6-21
図 6-38	落石エネルギーと構造物の変形シミュレーション.....	6-23
図 6-39	砂利緩衝材を持つコルゲートトンネル.....	6-25
図 6-40	両側が山のコルゲートトンネル.....	6-25
図 6-41	RC ボックス.....	6-25
図 6-42	谷側に擁壁を持つコルゲートトンネル.....	6-25
図 6-43	三層緩衝材を持つコルゲートトンネル.....	6-26
図 6-44	落石による構造物の変位.....	6-26
図 6-45	完成したコルゲートトンネル.....	6-27
図 6-46	施工中のコルゲートトンネル.....	6-27
図 6-47	震災発生後の不通区間の推移.....	6-28
図 6-48	復旧工事のコントラクトパッケージと施工スケジュール.....	6-29
図 6-49	復旧工事の工区分け.....	6-30
図 6-50	標準図的な線路設備.....	6-31
図 6-51	日本の新幹線の震災復旧実績.....	6-32
図 6-52	JR 東日本の復旧体制.....	6-33
図 6-53	指導文書の例.....	6-34
図 6-54	JR 東日本の調査点検の判断資料.....	6-34
図 6-55	日本における道路・河川関係者と連携した復旧事業の例.....	6-35
図 6-56	JR 呉線復旧事業（JR 西日本・NEXCO 西日本・中国地方整備局の事業間連携）..	6-35
図 7-1	O&M の実施主体と関係する省庁との相関図.....	7-3
図 7-2	防災分野別の将来の実施項目案.....	7-4

表目次

表 1-1	報告会の実施内容および参加者.....	1-5
表 1-2	TCDD が保有する在来線の概要.....	1-8
表 1-3	TCDD が保有する高速鉄道線の概要.....	1-9
表 1-4	日本以外の各ドナーによる本震災への復旧支援.....	1-12
表 1-5	WB および AIIB による支援事業の概要.....	1-13
表 3-1	加速度センサーに対する要求仕様.....	3-3
表 3-2	高感度カメラに対する要求仕様.....	3-4
表 3-3	超音波式水位計測装置に対する要求仕様.....	3-5
表 4-1	実証実験対象線区（カラビュック～フィリヨス間）の概要.....	4-4
表 4-2	実証実験対象線区（アンカラ～カラマン）の概要.....	4-4
表 4-3	調査実施箇所一覧表.....	4-5
表 4-4	防災システム整備に関連する CE マーキング規制類.....	4-15
表 4-5	機器設置箇所一覧.....	4-16
表 4-6	機器状態一覧.....	4-22
表 5-1	トルコの防災関連の法制度.....	5-1
表 5-2	鉄道の防災・減災対策.....	5-9
表 5-3	アンカラ地下鉄・イスタンブール地下鉄の防災・対応体制の比較.....	5-19
表 5-4	TCDD と都市鉄道との防災・対応体制の比較.....	5-26
表 6-1	本震災による鉄道網への被害.....	6-3
表 6-2	2023 年 5 月調査の調査構造物の被害原因と復旧方策提案内容.....	6-6
表 6-3	RC ロックシェッド部材諸元.....	6-20
表 6-4	コルゲート鋼板の機械的性質.....	6-21
表 6-5	コルゲート鋼板の曲げモーメント.....	6-22
表 6-6	試算に用いた落石のエネルギーのパターン.....	6-22
表 6-7	復旧工事の契約内容まとめ.....	6-29
表 6-8	ギョルバシュ・マラティヤ区間における工事内容.....	6-30

略語表

略語	英語表記もしくは略語説明 (tur: トルコ語表記)	日本語表記もしくは略語説明
ADB	Asian Development Bank	アジア開発銀行
AFAD	Turkey Disaster and Emergency Management Authority	トルコ内務省災害緊急事態対策庁
AIIB	Asian Infrastructure Investment Bank	アジアインフラ投資銀行
AKOM	Disaster Coordination Center of Istanbul Metropolitan Municipality (tur: Afet Koordinasyon Merkezi)	イスタンブール大都市圏災害コントロールセンター
AYGM	General Director of the Infrastructural Investment (tur: Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü)	インフラ投資総局
Co.	Company	会社 (Co., Ltd: 株式会社)
CTC	Centralized Traffic Control	列車集中制御
DASK	Doğal Afet Sigorta Kurumu	自然災害保険制度
DF/R	Draft Final Report	ドラフト/ファイナル・レポート
DSI	State Hydraulic Works (tur: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü)	国家水利庁
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development	欧州復興開発銀行
EGO	Ankara Electricity, Gas and Bus Operations Organization	アンカラ地下鉄
EN	European Standards (European Norm)	欧州規格
ETCS	European Train Control System	欧州式の統一列車制御システム
F/R	Final Report	ファイナル・レポート
IC/R	Inception Report	インセプション・レポート
IsDB	Islamic Development Bank	イスラム開発銀行
IT/R	Interim Report	インテリム・レポート
IRAP	Provincial disaster risk mitigation plan (tur: Afet Risk Azaltma Planı)	地方防災計画
JBIC	Japan Bank for International Cooperation	株式会社国際協力銀行
JDR	Japan Disaster Relief Team	国際緊急援助隊
JETRO	Japan External Trade Organization	日本貿易振興機構
JIC	Japan International Consultants for Transportation Co.,Ltd	日本コンサルタンツ株式会社
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
JST	JICA Survey Team	JICA 調査団
Ltd.	Limited	有限責任 (Co., Ltd: 株式会社)

略語	英語表記もしくは略語説明 (tur: トルコ語表記)	日本語表記もしくは略語説明
MGM	Turkish State Meteorological Service (tur: Meteoroloji Genel Müdürlüğü)	気象総局
MOT	Ministry of Transport and Infrastructure (tur: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı)	運輸インフラ省
MoEUCC	Minister of Environment, Urbanisation and Climate Change (tur: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı)	環境都市気候変動
MTA	General Directorate of Mineral Research and Exploration (tur: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü)	鉱物資源調査・探査総局
NK	NIPPON KOEI (en.: International Engineering Consultants)	日本工営株式会社
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
OCC	Operation Control Center	運行管理センター（運行管理所）
PreDAS	Prevention of Disaster Alarm System	JR 東日本が開発、運用する総合防災システム
SBB	Presidency of Strategy and Budget (tur: Strateji ve Bütçe Başkanlığı)	大統領府戦略予算局
TCDD	Turkish State Railways (tur.:Turkey Cumhuriyeti Devlet Demiryolları)	トルコ国鉄（インフラ保有会社）
UEIM	Transport Safety Investigation Center (tur.: Ulaşım Emniyeti İnceleme Merkezi)	運輸安全調査センター
UHDGM	General Directorate of Transportation Services Regulation (tur: Ulaştırma Hizmetleri Düzenleme Genel Müdürlüğü)	トルコ運輸インフラ省サービス規制総局
UNDP	United Nations Development Programme	国連開発計画
WB	World Bank	世界銀行
WMO	World Meteorological Organization	世界気象機関

第1章 調査の背景・実施目的

1.1 本調査の背景

2023年2月6日にトルコ南東部で発生したM7.8規模のトルコ・シリア地震（以下、トルコ・シリア地震）の甚大な地震被害に対し、国際協力機構（Japan International Cooperation Agency：JICA）は、国際緊急援助隊・専門家チームを2023年3月に派遣し、鉄道分野での地震災害等に関する備えが十分ではないことと、トルコ国鉄（Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları：TCDD）から鉄道橋梁やトンネル等の復旧にかかる技術支援の可能性があることを確認した。

その後、TCDDの要望をもとに、JICAと震災復旧の知見を有する日本コンサルタンツ(株)（JIC）と東日本旅客鉄道株式会社（JR 東日本）が、2023年4月30日～5月9日にTCDDが復旧に難しさを感じている特定箇所に対し、復旧方針に関わるコンサルテーション（以下、2023年5月調査）を実施した。

2023年5月調査の結果、トルコ国およびTCDDにおける防災関連構造物の復旧に関する支援のほか、災害に対応するためのトルコ国およびTCDDにおける防災関連基準等の整備、TCDDからの今後の大規模災害に備えた鉄道防災システム構築に対する要望があった。これに対し、日本の実績を踏まえた鉄道防災システムの紹介や、更なる防災機能強化のための継続的な技術支援の必要性のほか、本邦企業の有する鉄道防災技術を活かしたビジネス展開の可能性が明らかになった。

これらを踏まえ、TCDDおよびトルコ国の鉄道の防災機能の現状と課題、それらを踏まえた改善方策の提案と将来の本邦企業等の展開可能性を検討するため、本調査が実施されることとなった。

1.2 調査実施目的

本調査では、以下3点の必要な情報や課題を調査し、トルコにおける鉄道の防災機能強化に必要な協力アプローチを検討するための基礎情報の収集を目的とする。

鉄道防災システムの構築に関する調査（パイロット実証実験を含む）

TCDDと協議し対象となる線区を定めた上で、当該線区の過去災害による鉄道施設の被害状況、復旧状況、復旧活動状況の把握・分析を行い、鉄道防災システム構築へ向けた調査を行う。

本邦鉄道防災技術やサービスの活用を念頭に、TCDDに対し関連技術を紹介し、日本の鉄道事業者が鉄道防災システムとして活用実績のある製品を使用した実証実験を行う。そのうえで、鉄道防災システム導入および運用・維持管理を含めた課題の整理と、本邦企業のビジネス展開を含む事業提案を行う。

鉄道防災に関する基準類の調査

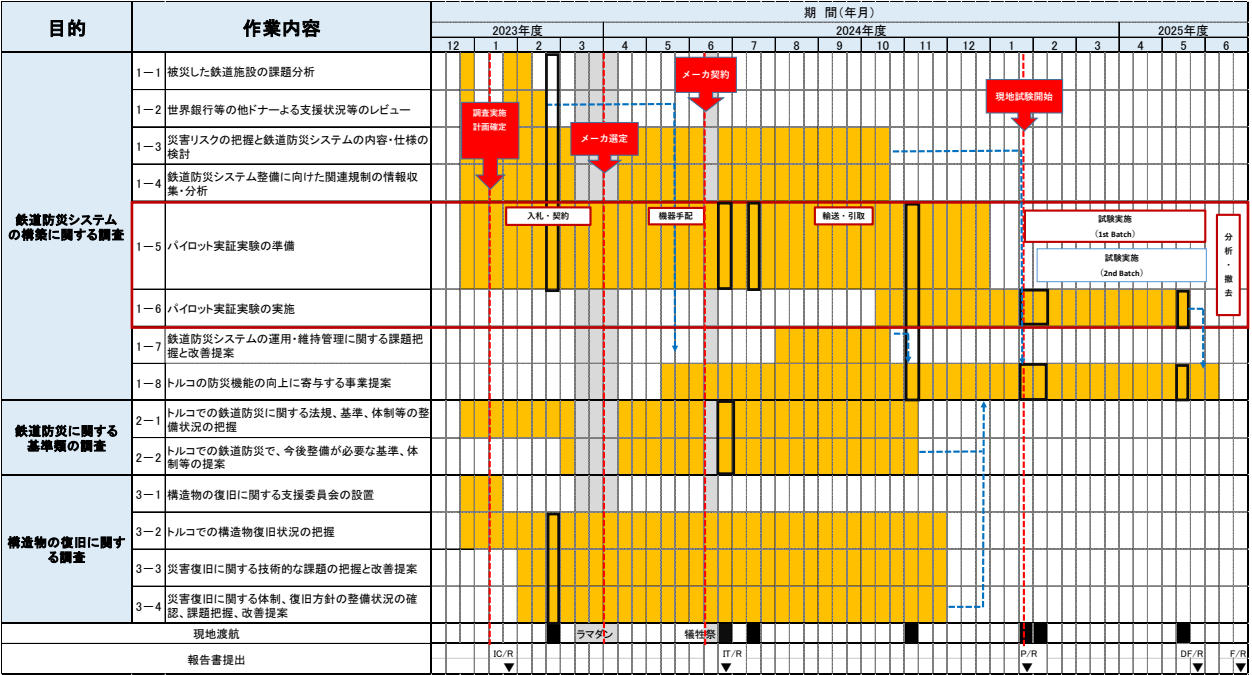
トルコでの鉄道防災に関する法規、基準、体制等の整備状況を把握し、トルコの災害リスクを考慮したうえで、今後整備が必要な基準、体制等を提案する。

構造物の復旧状況の把握と復旧対応に関する助言

2023 年 5 月調査で確認した構造物の復旧状況を把握する。さらに災害復旧、体制、復旧方針について調査団が現状と課題を把握し、必要に応じて TCDD に対し技術的なアドバイス、改善に向けた情報提供、事例紹介等を行う。

1.3 調査スケジュール

スケジュールについては、下記のスケジュールに基づき、調査団員が現地渡航し調査を実施すると共に、国内でのデスクトップ調査、オンラインでの会議等を実施する。



出典：調査団作成

図 1-1 調査実施スケジュール

上記スケジュールに基づき、各渡航を実施した。各渡航の業務状況を下記に示した。

(1) 第一回目渡航（2024 年 2 月 14 日～3 月 2 日）

実証実験、構造物の復旧支援に向けた現地調査と、TCDD および震災復旧工事のコントラクターとの協議、運輸インフラ省インフラ投資総局（Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü : AYGM）、トルコ内務省災害緊急事態対策庁（Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı : AFAD）とのヒアリングおよび情報収集を行った。更に、JICA トルコ事務所、在トルコ日本大使館、世界銀行、国際協力銀行（Japan Bank for International Cooperation : JBIC）、日本貿易振興機構（Japan External Trade Organization : JETRO）との協議を実施した。本調査の趣旨について、TCDD と事前協議に基づき議事メモを交わし、協力をいただく旨、確認した。

特に TCDD との協議において、TCDD 側へ日本の防災体制や、鉄道用の防災システム等の有用性、機能等を理解してもらうため、意見交換と事例紹介（シェアリングセッション）を行った。

ガジアンテップにおいて、トルコ・シリア地震被災地域における、鉄道の構造物の復旧状況を確認すると共に、現地のコントラクターを含めて構造物復旧工事の課題を確認した。

カラビュックにおいて、落石による災害発生地域であることから、危険個所を確認し実証実験予定地を検討するために、現地調査を行った。



出典：調査団

図 1-2 第一回目渡航での活動（左：実証実験予定地調査・右：シェアリングセッション）

(2) 第二回目渡航（2024 年 6 月 23 日～6 月 29 日）

法令、都市鉄道関係の調査を行うため、規制当局である運輸インフラ省サービス規制総局（Ulaştırma Hizmetleri Düzenleme Genel Müdürlüğü : UHDGM）、運輸安全調査センター（Ulaşım Emniyeti İnceleme Merkezi : UEIM）に対してヒアリングを行った。規制当局関係のヒアリングでは、本調査において実施される実証実験や、それらを踏まえた防災関係の基準整備、更に日本の支援の必要性について、意見を得ることができた。UHDGM からは、日本の防災関係の基準に関する関心が示された。UEIM からは組織体制強化の支援に関して、ニーズがあることがわかった。

また、防災に関連する観測網を有する、国家水利庁（Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü : DSI）、気象総局（Meteoroloji Genel Müdürlüğü : MGM）へのヒアリングを行った。観測ネットワークの現状や、観測データの利活用状況、災害復旧経験等を確認することができた。

更に、アンカラおよびイスタンブールの都市鉄道事業者に対して、運営維持管理、防災体制、災害復旧等に関するヒアリングを行った。渡航前から都市鉄道事業者より、ケーブルカー等固有システムにおける防災システムの配備状況について、情報提供を求められたためこれらの情報を提供した。イスタンブールメトロでは、特に日本の事業者での災害発生から運行管理までの意思決定の早さについて、関心が示された。



出典：調査団

図 1-3 第二回渡航でのヒアリング（左：MGM：右：UHDGM）

(3) 第三回目渡航（2024 年 7 月 10 日～7 月 20 日）

実証実験の詳細調査を行う目的で、第三回目渡航を実施した。

実証実験にあたり通信ネットワークを利用することから、通信事業者である TurkCell より通信回線のテスト機材を借り受けて通信テストを行った。同社の試験場から機材提供を受け、当該線区であるカラビュックへ持ち込み、通信テストを行った。

さらに、第一回目渡航で候補として検討された箇所において、通信テストや 360° カメラを用いた撮影を行い、設置箇所の最終化、並びに設置方法の詳細検討のための情報収集を行った。

(4) 第四回目渡航（2024 年 11 月 3 日～11 月 9 日）

第三回目渡航において最終化された第一陣の実証実験に向けて、現地に機材を持ち込む際の税関手続き、機材輸入時の責任区分の明確化、設置スケジュールに関して、最終化させることを目的に協議を行った。

その上で実証実験の追加実施箇所の候補として、カラビュック～フィリヨス間、および高速鉄道のアンカラ～コンヤ間において現地調査を行った。この現地調査は通信テストを含み、追加設置のための候補地を最終化することが狙いであった。

(5) 第五回目渡航（2025 年 1 月 18 日～2 月 14 日）

第四回目渡航において確定した箇所における実証実験実施に向けて、機器の現地搬入、設定、設置と使用方法等のレクチャーを実施した。1 月 23 日よりカラビュック地区にて斜面災害、水害検知のシステムを設置し、実証実験が開始された。その後、2 月 6 日よりコンヤ地区において、シンクホールによる陥没や変状を検知するシステムの実証実験が開始された。なお、両地区のメンテナンス事務所を対象として実証実験機材の使用方法、維持管理方法等のレクチャーを実施した。

更に、調査に関する将来展開を検討するため、大統領府戦略予算局（Presidency of Strategy and Budget: SBB）をはじめとする政府機関へ面会し、トルコにおける事前防災投資の考え方を確認した。

(6) 第六回目渡航（2025 年 5 月 10 日～5 月 17 日）

2025 年 1 月より開始した実証実験の成果や、本調査における調査結果を TCDD のメンテナンス部門に共有すると共に、将来の課題や本邦企業の展開方策について関係省庁とも協議した。

TCDD のメンテナンス部門に対しての最終報告は、5 月 13 日に実施され、メンテナンス部門長、高速鉄道メンテナンス部長を始めとした TCDD 側関係者と、日本大使館、JICA トルコ事務所、世界銀行アンカラ事務所等の関係者に対して調査の成果を共有することができた。参加者および実施内容を下表に示す。

さらに関係省庁として AYGM との協議を行い、防災システム配備に向けた AYGM の立ち位置や、システム配備のあり方について確認した。

表 1-1 報告会の実施内容および参加者

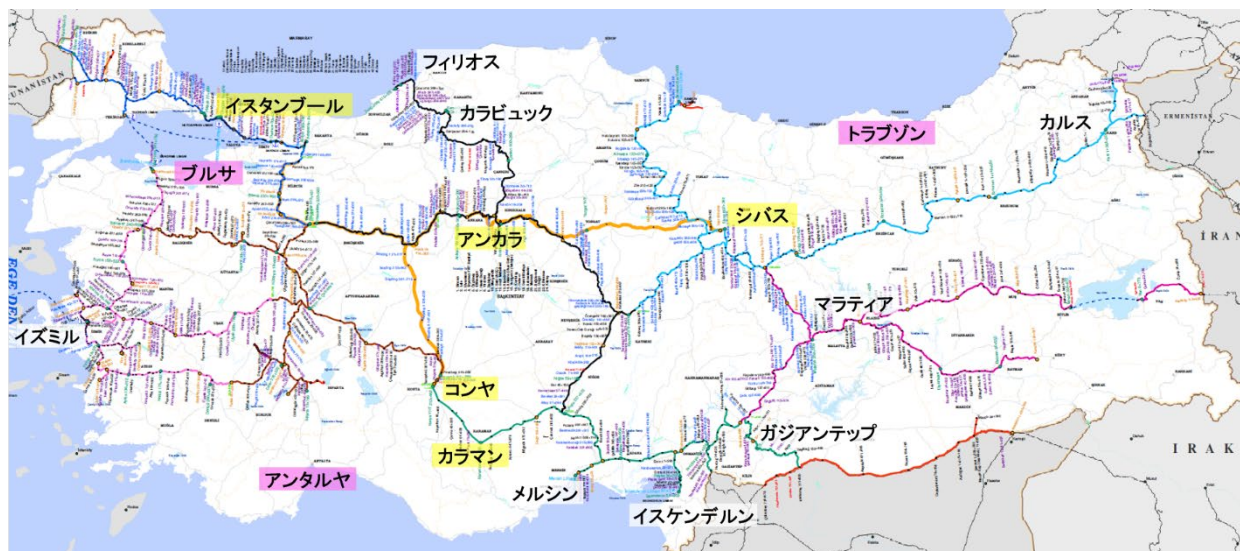
項目	内容
参加者： トルコ国側	TCDD インフラ部・部門長、副部門長 インフラ部プロジェクト推進室・室長 保線課長、YHT（高速鉄道）保守課長 カラマン保守事務所長、カラビュック保守事務所マネージャー 他数名
参加者： 日本 国際機関	在トルコ日本国大使館：二等書記官 他ローカルスタッフ 1 名 JICA トルコ事務所：所長、他所員 2 名 世界銀行：Transport スペシャリスト
発表内容	1. 本件調査結果の報告 2. 日本の鉄道事業者（JR 東日本）における防災とメンテナンスの取り組み 3. 日本における復旧事業の進め方 4. 調査団からの提言
質疑応答事項	日本の事例に関する質問事項： ・ 鉄道用雨量計の設置箇所に関する規程、間隔、設置位置について ・ 線路外降水による線路付近での冠水に対する対応方法について。 ・ 橋が洪水被害を受けたケースの紹介を踏まえ、災害が発生するとの程度前に判明し、アラートが来るかについて ・ 紹介された橋梁被害のケース、橋梁、橋脚の強化、構造物対策の実施状況 ・ 日本で自然災害起因の事故があった場合の、事業者責任 ・ 日本の鉄道防災にかかる予算について ・ マルマラ海での地震（M6.1）を踏まえ、日本での地震発生時の対応方法 ・ トルコでの実データを踏まえた運行やメンテナンス判断に関する基準値の決め方、

出典：調査団

1.4 トルコ国鉄の現状

トルコの鉄道網整備は、1858 年に開業したイズミル～アイドゥン間を皮切りとして始まり、外国資本による投資として、中近東～欧州間の輸送を担う目的で整備が行われた。このため、都市間鉄道網は必ずしも都市の中心部を通過する形態にはなっておらず、線形や自然環境が厳しい箇所も多く

みられる。TCDD の路線網を以下に示す（図 1-4）。黒海沿岸の主要な大都市であるトラブゾン、オルドゥ、エーゲ海沿いのアンタルヤ、イスタンブールに近いブルサ市等を鉄道が通っていないことが確認できる。



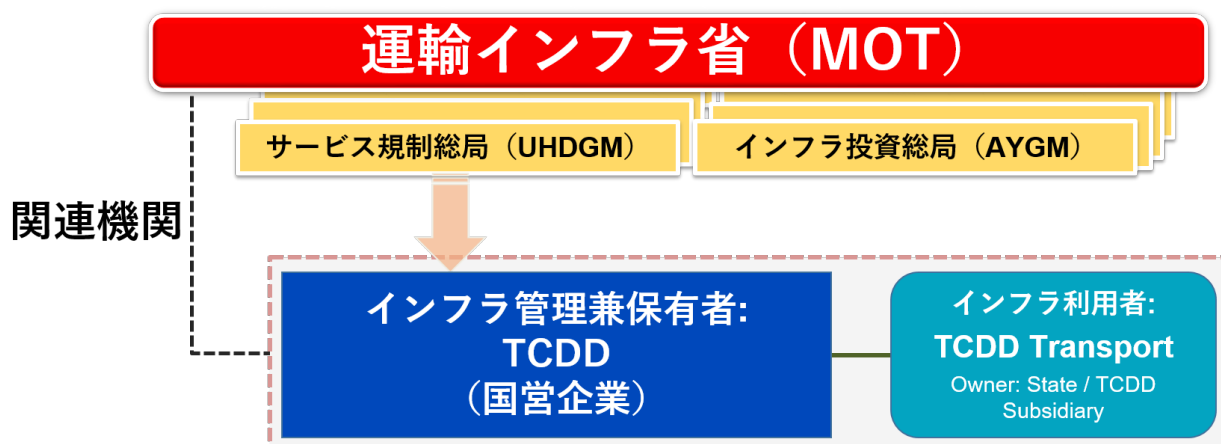
注：高速鉄道の起終点を黄色、鉄道が通っていない主要都市をピンク色で示した。

出典：TCDD 資料に調査団が加筆

図 1-4 TCDD の有する路線網

トルコの都市間鉄道網は 1927 年に、外国資本の鉄道網とオスマン帝国が敷設した国有の鉄道をまとめて国有化された。現在も、TCDD は運輸インフラ省（Ministry of Transport and Infrastructure : MOT）の管理下におかれている、国有企業であり、国鉄の在来線、高速鉄道線のインフラ管理者として、設備の維持管理や運行管理を担っている。

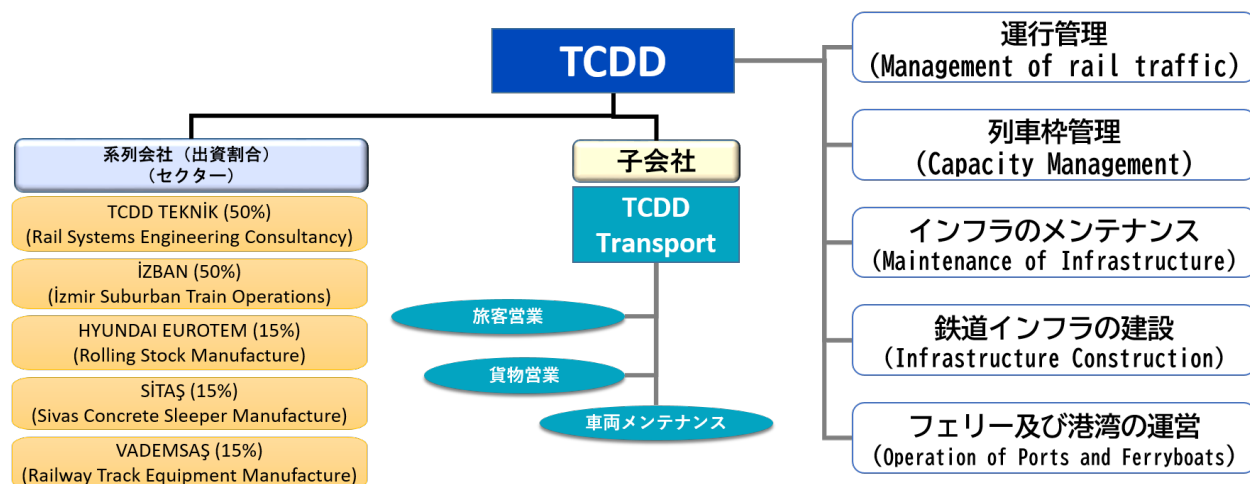
TCDD と MOT の位置づけを、次図（図 1-5）に示す。交通関係の監理を担う MOT は、20 の総局と 8 の関連機関などを有しており、TCDD は関連機関として MOT の下部に位置づけられる。



出典：TCDD

図 1-5 TCDD と運輸インフラ省の位置づけ

TCDD は高速鉄道と在来線のインフラの運営維持管理を担当しているが、その出資会社にはコンサル、車両メーカー等がある。さらに列車運行そのものや、車両整備は TCDD の子会社である TCDD Transport が担当している。両社は 2017 年に分割されたが、これはオープンアクセスを狙ったものであり、将来的には民間オペレーターの参入も企図した上下分離を目指している。TCDD と TCDD Transport の役割分担、出資会社の位置づけを以下（図 1-6）に示した。

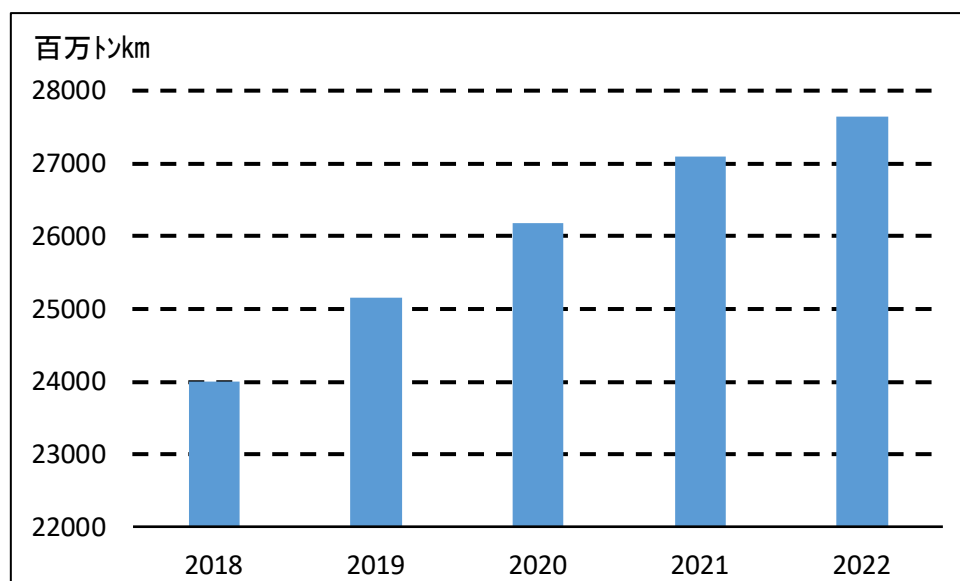


出典：TCDD 資料より調査団がまとめた

図 1-6 TCDD の役割分担および各出資会社の位置づけ

トルコにおける鉄道の運輸セクターのモード別分担率は 2020 年時点で、旅客 2.7%、貨物 4.5% であることが、TCDD の統計報告書からも確認できる。すなわち、トルコの都市間移動、輸送において鉄道は主たるモードとして選定されていない現状がある。

ただし、貨物の輸送実績は 2018 年から 2022 年までは堅調な成長を続けている。車両重量を含む貨物の総トンkmはコロナ禍にあっても右肩上がりの成長を続けており（図 1-7）、TCDD が旺盛な貨物需要に対して、対応を求められていることがわかる。



出典：TCDD “ANNUAL STATISTICS 2018-2022”

図 1-7 TCDD における年間の車両重量を含む通過総トンkm（貨物輸送）

(1) 在来線

TCDD がインフラ管理者として保有する在来線の概要を以下（表 1-2）に示す。TCDD の在来線は都市圏では通勤路線として、都市圏輸送を担っているが、都市間においては貨物輸送をメインとしている。これは都市間移動においては、自動車はその輸送を主に担っていることや、過去の鉄道網整備が都市間接続ではなく、中近東—欧州間の接続を狙ったものであったことに起因する。

表 1-2 TCDD が保有する在来線の概要

項目	実績(2022 年度)
路線延長	11668 km
輸送人員	303.32 百万人
輸送収入(旅客)	1,485,928,361TL(線路使用料、高速鉄道での収益等を含む)
輸送実績(貨物トン—km)	15,506,338,000 トンkm
輸送収入(貨物)	1,255,829,294TL
最高速度	120 km/h
軸重	22.5 トン
電化率	58.9%

出典:TCDD および運輸インフラ省資料より調査団がまとめた

TCDD の在来線区間は動力分散型の電車と、ディーゼルまたは電気の機関車による動力集中型の列車が混在して運行されている。アンカラ、イスタンブールの都市圏では電車が近郊輸送を担っている一方で、都市間においては機関車による客車列車が運行されている。

TCDD の在来線においては、現状、防災システムやモニタリング装置は設置されておらず、遠隔で状況監視が可能なカメラが設置されているのみにとどまっている。

線路近傍に設置されているカメラは、線路、附帯設備の状態をアンカラ、シヴァスの二か所に存在する技術センターに送信している。また、各線区の運行管理を行う列車集中制御（Centralized Traffic Control：CTC）区間では、CTC の指令所に担当する線区のカメラ画像を有線接続によって送信している。これらのカメラは線路の状況を確認するには有効に活用されているものの、夜間は視認性が極端に下がることや、何によってカメラの映像を確認するか等のルールが明文化されていないことによって、必ずしも効果的に運用されていないことが確認された。

(2) 高速鉄道

TCDD がインフラ管理者として保有する高速鉄道の概要を以下（表 1-3）に示す。

トルコの高速鉄道網は 2009 年にエスヶシェーヒルーアンカラ間で開業した。その後、イスタンブール—アンカラ、コンヤ（カラマン）—アンカラ、シヴァス—アンカラが開業している。

最高速度は一部区間が 250 km/h であるが、在来線の列車と供用する区間も多く、最高速度を 200km/h または 160 km/h 程度まで抑えている区間も確認できる。

表 1-3 TCDD が保有する高速鉄道線の概要

項目	実績(2022 年度)
路線延長	1,460 km
輸送人員	9.36 百万人
最高速度	250km/h
信号システム	ETCS レベル 2 相当

出典: TCDD および運輸インフラ省資料より調査団がまとめた

日本の新幹線と同じく動力分散型の車両を採用しており、基本的には EN (欧州規格: European Norm) に準じた設計となっている。このため、当初に採用された車両はスペインの高速鉄道をベースとし、最新の車両もシーメンス社の高速鉄道用車両である Velaro をベースとしている。



出典: 調査団

図 1-8 Velaro をベースとした高速鉄道車両 (TCDD HT80000)

TCDD の高速鉄道路線においては、在来線と同じくカメラが設置されている他、一部の構造物にはメンテナンスでの活用を意図した、モニタリング装置が試験的に設置されていることが確認された。これらのモニタリング装置は、アンカラ、シヴァスに存在する技術センターに情報が送信されている。

TCDD によると、これらの装置は建設段階で設置されたが、その使用方法や取得データの利活用に関しては、TCDD 内で取り扱いが明文化されていないとのことであった。

なお、AYGM によればこれらのモニタリング機器については、技術文書に基づきリスク評価を行った上で設置の判断をしているとのコメントが得られた。現時点では技術文書が示す機器は、地震計、風速計、カメラのみでありそれ以外の機器は設置した実績は無いとのことであった。

なお、近年高速鉄道においては線路冠水事例が多く発生し、列車運行に影響を与えている。この際、カメラ映像で列車が接近する前に異常を発見した事例があることも確認された。

1.5 トルコの都市鉄道の概要

2024 年 4 月現在、トルコにはイスタンブール(Istanbul)・アンカラ(Ankara)・ブルサ(Bursa)・イズミル(İzmir)・アダナ(Adana)の 5 都市で地下鉄が営業しており、イスタンブール・アンカラ・イズミルの 3 都市では郊外型の通勤鉄道も営業している。路線規模が大きく利用者が多い、アンカラ地下鉄とイスタンブール地下鉄の概要を示す。

1) アンカラ地下鉄(Ankara Electricity, Gas and Bus Operations Organization (EGO))

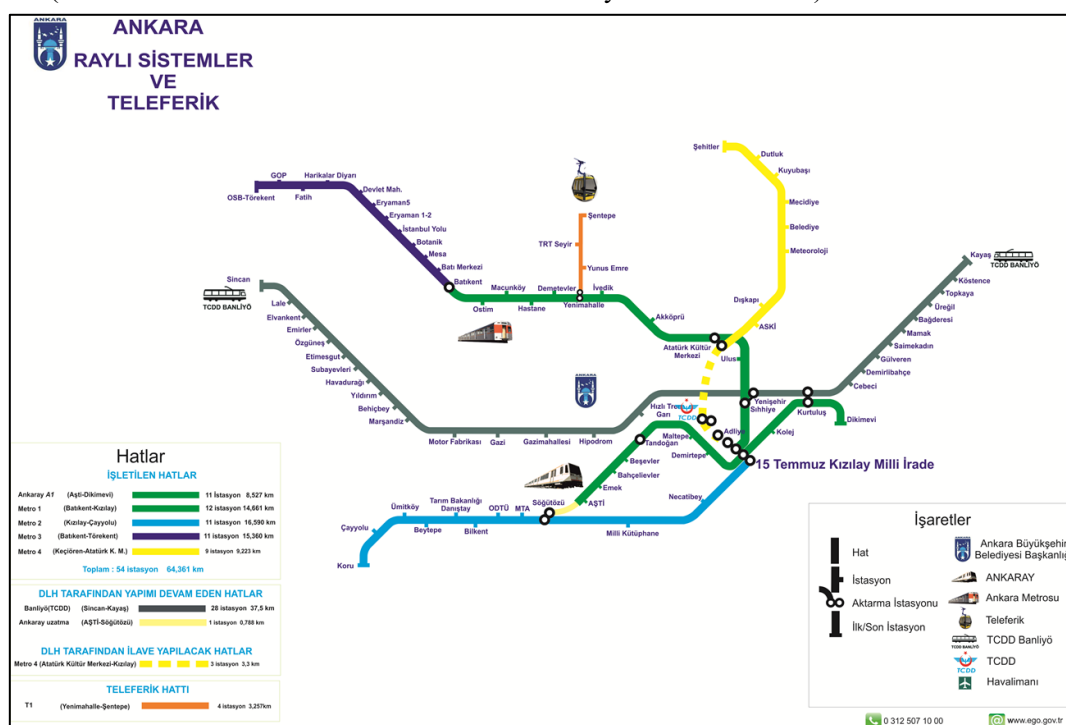
EGO はアンカラ市の一部局として 1942 年にアンカラ市内のガス・電気供給を開始し、1950 年に

バス、1996年に地下鉄事業を開始した。2007年までに電力・ガス事業を切り離して、現在は市内のバスと地下鉄およびロープウェイを運営している。

地下鉄としては、下記の5路線計67.93km、57駅が営業中である。M1・M2・M3線のKoru-OSB間はM1線として一体運用されており、Ankaray、M4と実質3路線である。Ankaray線の車庫は終点のASTI駅近傍、M1-4号線の車庫は共通でMacunkoy駅近傍と終点のKoru駅近傍に設置されており、それぞれ運行管理センター（Operation Control Center：OCC）を併設している。

EGOの2023年アニュアルレポートによれば、年間利用者は159百万人（一日あたりの利用者は43.6万人）である。全線とも1435mm軌間、第三軌条750V方式である。

- Ankaray線(1996年開業、8.5km、ASTI-Dikimevi間11駅、車体長14.5mのライトメトロ規格)
- M1線(1997年開業、14.66km、Kizilay-Batikent間12駅、以下、車体長18m)
- M2線(2014年開業、16.59km、Kizilay-Koru間11駅、M1線の一部として運営)
- M3線(2014年開業、15.36km、Batikent-OSB間11駅、M1線の一部として運営)
- M4線(2017年開業、2023年延長、12.52km、Kizilay-Gazino間12駅)



出典:EGO

図 1-9 アンカラ地下鉄路線図

2) イスタンブール地下鉄(Metro İstanbul)

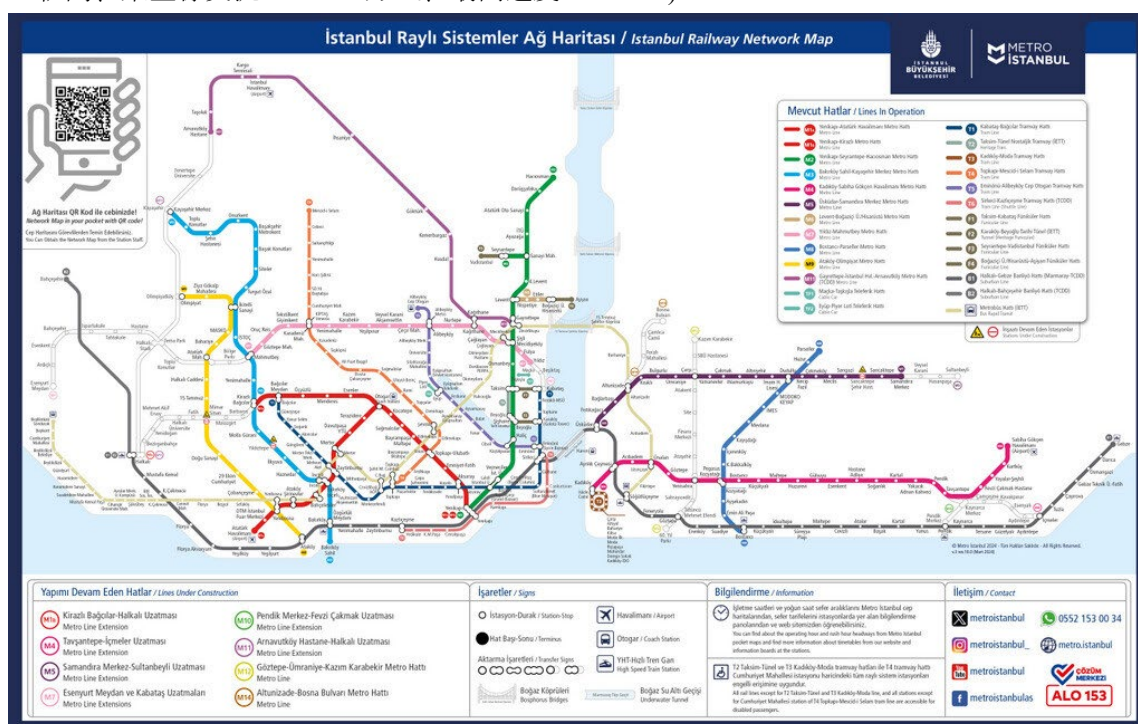
メトロイスタンブールすなわちイスタンブール市交通局はイスタンブール市の一部局であり、地下鉄10路線（M1-M9、M11）、路面電車4路線（T1-T4）、ケーブルカー、フェリー等様々な公共交通手段を所有および運営している。さらに MRT 3 路線を建設中（M10,12,14）、7 路線を延伸工事中（M1,3,4,5,7,9,11）、1 路線を計画中(M13)である。2024年5月現在の営業キロは241.35km、駅数234、2022年の利用客は831百万人(一日あたり228万人)に及ぶ(メトロイスタンブール提供データ)。

イスタンブール市には、2013年開業のヨーロッパ側とアジア側を結ぶ海底トンネルのマルマレイ(Marmaray)線がある。マルマレイ線はイスタンブール・アンカラ間高速鉄道を含む TCDD 路線と直通

運転しており、イスタンブール空港に直通する 2023 年開業の M11 号線はマルマレイ線との直通運転が予定されている。そのため、マルマレイ線と M11 号線は TCDD Transport (tur: TCDD Taşımacılık) が運営しており、他の地下鉄路線はイスタンブール市交通局が運営している。

主な地下鉄路線を以下に示す。全路線 1435mm 軌間ながら、ライトメトロ規格、フル規格メトロ、第三軌条方式、架空線方式が混在しており、イスタンブール空港まで長距離を運行する M11 線は最高速度 120km/h である。

- M1 線(1989 年開業、26.8km、23 駅、架空線 750V、ライトレール規格、最高速度 70km/h)
- M2 線(2000 年開業、23.49km、16 駅、第三軌条 750V 方式、最高速度 80km/h)
- M4 線(2012 年開業、16.59km、11 駅、架空線 1500V 方式、最高速度 80km/h)
- M11 線(2023 年開業、51.5km、16 駅、架空線 1500V 方式、最高速度 120km/h)
- マルマレイ線(2013 年開業、総延長 76.3km、トンネル長 13.6km、新設 3 駅、既存 37 駅、1435mm 軌間、架空線交流 25000V 方式、最高速度 100km/h)



出典：メトロイスタンブール

図 1-10 イスタンブール地下鉄路線（2024 年）

1.6 世界銀行等の他ドナーによる支援状況等のレビュー

本震災については、世界銀行（World bank：WB）、国連開発計画（United Nations Development Programme：UNDP）等の国際機関の協力もあり、被害の実態や今後の支援策等の報告書が多数出されている。これらの報告書における、交通セクターの記載を確認すると、主にサプライチェーンの復旧という文脈において、その支援が検討されていることが報告書から確認できる。

しかしながら、鉄道に特化して復旧の支援必要性を提言しているものは、確認できなかった。

その後 WB が 2023 年 6 月に Türkiye Earthquake Recovery and Reconstruction Project¹の実施を発表した。WB が資金を提供し、本震災被災地の復興を支援するものとなる。このうち、特に復興に大きく関連するコンポーネントが 3 つあり、コンポーネント：1 が上下水等の復旧と、消防等の防災関係省庁の設備復旧であり、コンポーネント：2 が公的な医療サービスの復旧である。また、被災者関係としてコンポーネント：3 の居住支援が含まれている。WB のプロジェクトは資金総額が 10 億 USD となっている。

この他、欧州復興開発銀行（European Bank for Reconstruction and Development：EBRD）、イスラム開発銀行（Islamic Development Bank：IsDB）、アジアインフラ投資銀行（Asian Infrastructure Investment Bank：AIIB）等の支援が行われているものの、多くが医療インフラや住居再建、中小企業への支援を含む経済活動等であり、大規模な鉄道等のインフラに対する復旧支援は確認できなかった。

各ドナーの復旧支援を下表（表 1-4）にまとめた。

表 1-4 日本以外の各ドナーによる本震災への復旧支援

ドナー	内容	金額(単位)
WB	上下水道および衛生系インフラ復旧支援 消防等緊急事態対応関係の設備復旧支援 住居再建支援	1000 百万(USD)
EBRD ²	被災地域の経済活動支援(トルコ国内の銀行の支援を実施) 被災地域の中小企業への支援 復旧活動に従事する企業への支援	6 百万(EURO)
IsDB ³	緊急資金援助 被災地域の農業復旧支援および食料関係企業の支援 被災地域における経済復興支援	4.2 百万(USD)
AIIB ⁴	被災地域への緊急支援 グリーンインフラの構築支援(本震災復旧の一部として実施)	3 百万(USD)

注：複数プロジェクトが実施されている場合は、内容、本体金額を合計して記載した。

出典：各ドナーの公式発表等より調査団作成

なお、当初 EBRD が本震災直後の 2023 年 3 月に発表した計画には、鉄道復旧への支援が盛り込まれていたものの、EBRD のデータではその後の拠出は確認されていない。また、TCDD へのヒアリングにおいても、鉄道復旧に外国資金を活用していないことが確認された。

以上より、各ドナーの鉄道に対する復旧支援は現在において確認することができなかった。

一方で、本震災の復旧とは別に WB および AIIB がトルコの在来線整備について支援を行っていることが確認された。これはジョージア国境からトルコを經由し、欧州方面への貨物輸送路を確保することを目的としたプロジェクトであり、WB および AIIB の共同融資の形態をとっている。プロジェ

¹ <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2023/06/27/world-bank-approves-1-billion-for-turkiye-to-help-restore-rural-homes-and-essential-public-services-to-people-in-earthqu> (2024 年 5 月 17 日閲覧)

² <https://www.ebrd.com/work-with-us/projects/psd/54408.html> (2024 年 6 月 14 日 閲覧)

³ <https://www.isdb.org/hub/turkey/news/isdb-group-and-turkey-treasury-and-finance-ministry-sign-us120-million-financing-agreement> (2024 年 6 月 14 日 閲覧)

⁴ <https://www.aiib.org/en/projects/details/2023/approved/Turkiye-Turk-Eximbank-Earthquake-Response-Project.html> (2024 年 6 月 14 日 閲覧)

クト概要を下表（表 1-5）に示す。

表 1-5 WB および AIIB による支援事業の概要

項目	内容
名称	Eastern Türkiye Middle Corridor Railway Development Project (International Rail Logistics and Network Resilience Project より改称)
対象区間	ディブリー―エルジンジャン―エルズルム―カルス―ジョージア国境へ接続する区間
総延長	660 km
実施内容	● 143 kmの新線の建設 ● 信号保安設備、通信設備の設置 ● 全区間の電化 ● 側線(待避線)、橋梁、駅設備等の設置/更新
プロジェクト総額	1,344.6 百万 USD(トルコ政府の自己資金 183.9 百万 USD を含む)
資金提供	WB(国際復興開発銀行による資金提供) AIIB および IsDB (WB:660 百万 USD、AIIB:250 百万 USD、IsDB:250.7 百万 USD)

出典:WB ホームページ⁵、AIIB 資料⁶および IsDB ホームページ⁷

WB 担当者によると当該プロジェクトは、WB が課題と考えている中央アジア方面から欧州方面への陸上輸送路の強靱化を狙っているとのことであった。WB はトルコの鉄道インフラを、アジアとヨーロッパを繋ぐ物流ルートとして重視していることが確認された。

なお、上記の調査には記載されているインフラを強靱化するというハードウェア対策のほかに、TCDD の高速鉄道路線や、新設区間に設置する予定の各種のモニタリング装置を活用した、早期警報システムの導入に向けた調査が含まれていた。しかし、当該のコンポーネントは一旦中止となっている。WB によれば、投資効果の面で調査が不十分であることが原因であった他、コンセプトに関する調査が不十分であったとのことであった。

なお WB の担当者によると、上記のモニタリング装置は防災のみを目的とせず、メンテナンスの判断や、将来オープンアクセスによって運営側に参画する参画してくる事業者に対しての監理にも活用することを見込んでいるとのことであった。

1.7 トルコにおける、自然災害観測網の現状

トルコは自然災害、特に地震や土砂災害が頻発する国である。このため、自然災害に関しては関連省庁がモニタリングを行い、必要な場合には対応を行うこととなっている。

各自然災害観測網とそれらを管轄する省庁について、以下にまとめる（図 1-11）。なお、トルコにおいて、日本の国土交通省のように、災害時にインフラの被災をクロスセクターとして一元的に把握

⁵ <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/project-detail/P179128> (2025 年 3 月 14 日閲覧)

⁶ <https://www.aiib.org/en/projects/details/2024/download/Turkiye/AIIB-PSI-P000646-Eastern-Turkiye-Middle-Corridor-Railway-Development-Project.pdf> (2025 年 3 月 14 日閲覧)

⁷ <https://www.isdb.org/hub/turkey/news/islamic-development-bank-group-and-turkiyes-treasury-and-finance-ministry-sign-euro-24640-million-financing-agreement-for-turkiyes-middle-corridor-railway-project> (2025 年 3 月 14 日閲覧)

して管理する省庁は確認できなかった。以下に述べる通り、地震計は内務省下部組織の AFAD、河川水位計は農業森林省系の DSI、気象レーダーは環境都市気候変動省系の MGM によって設置、維持管理され、それぞれの機関・セクター間で情報共有が為されておらず、それらの情報を鉄道運行の意思決定に活用していないことが確認された。

	農業・森林省 	内務省 	環境都市気候変動省 
	国家水利庁 (DSI)	災害緊急事態対策庁 (AFAD)	気象総局 (MGM)
役割	- 河川洪水情報の集約 - 水害モニタリング - 河川管理 - ダムの維持管理	- 地震観測 - 自然災害時の緊急対応の実施 - 緊急対応時の関係機関の調整	- 気象観測・予報の実施 - 気象観測データの公開 - 気象観測データの販売 (民生利用向け)
機器類	✓ 水位計 ✓ 加速度計 ✓ 河川水位観測網がある (詳細は不明)	✓ 地震計 ✓ 防災情報を集約するコントロールセンター	✓ 雨量計 ✓ 気象レーダー ✓ 自動観測所

注:赤字は観測・検知系の業務

出典:調査団

図 1-11 自然災害観測網と所管する官庁の概要

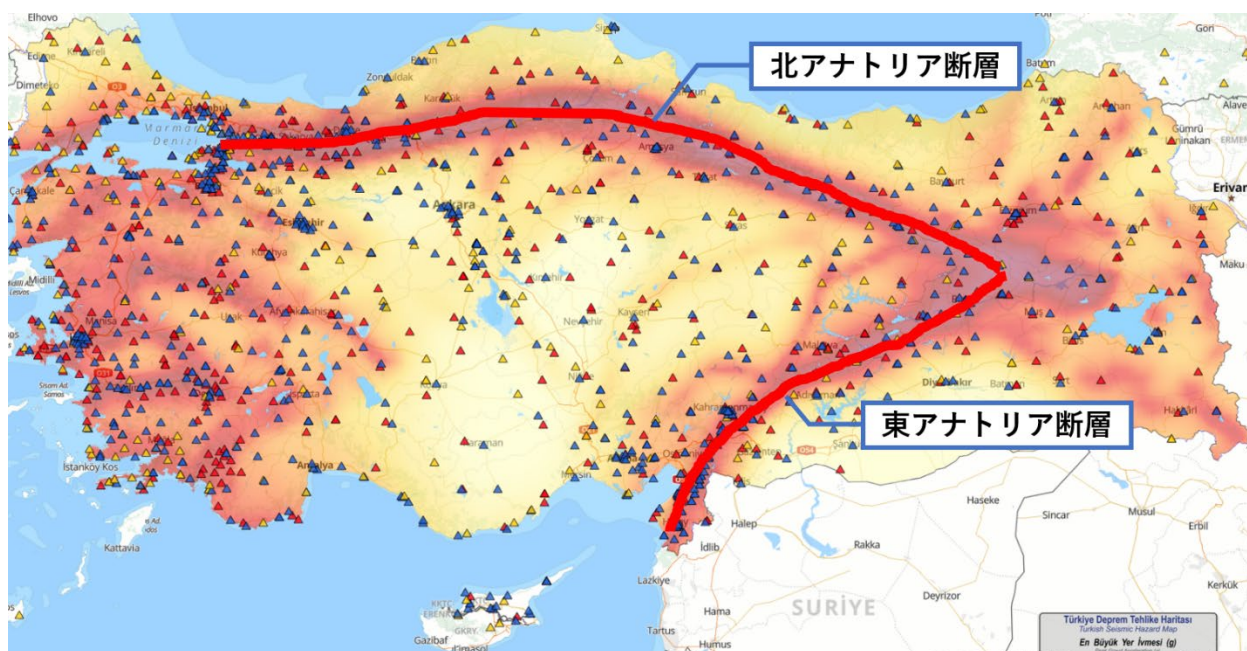
(1) 地震観測網

トルコ国内には加速度計を活用した地震観測網が設置されている。AFAD によると、調査を実施した 24 年 1 月の段階で、317 基の速度型地震計と、826 基の加速度型地震計を用いて観測ネットワークを形成しており、2021 年において、23,763 回の地震が計測されている。

次図 (図 1-12) はトルコの AFAD が公開している地震計ネットワークである。三角のアイコンが各地震計の設置個所と種類 (加速度計、速度計) を示し、色の濃い箇所が地震のハザードマップで高リスクとされている地域である。

トルコ国内には特に危険視される二つの巨大断層があり、それらの北アナトリア断層、東アナトリア断層に沿って地震計ネットワークを設置している他、特に人口稠密地域であるイスタンブール都市圏には多数の地震計が設置されていることわかる。

また、AFAD はトルコ国内における土砂、斜面災害のリスク分析を実施して、危険箇所情報を提供している。AFAD ARAS と呼ばれる情報分析システムであり、それらの分析結果は AFAD の防災管理支援システム (AYDES) を通じて、インターネット上に公開されている。



出典: AFAD ホームページ⁸

図 1-12 AFAD の有する地震計ネットワーク

(2) 河川水位観測網

過去の JICA 報告書（2014 年『トルコ国防災都市計画に係る情報収集・確認調査ファイナル・レポート』）によれば、DSI は河川管理、洪水対策、ダム建設等、水資源に関する業務を遂行する組織であるとされている。このため、トルコの河川水位のモニタリングは、上記の通り基本的には DSI が行っている。また、過去の調査や、デスクトップ調査によれば DSI が、トルコ国内の河川において水害のリスク分析等を実施していることが判明した。

このため、6 月 25 日に DSI へのヒアリングを実施し、DSI が所有する水位観測を含むモニタリング観測網や防災管理における DSI の役割に関して情報を収集した。ヒアリング調査の結果概要は以下のとおりにとめる。

DIS によるモニタリング観測網について

- 水位、降雪量（約 1300 stations in total）などをモニタリングしているが鉄道施設を直接モニタリングしている訳ではない。計測情報はオンラインで確認できる。計測機器そのものもオンライン化されている。
- DSI から水管理庁、農業省への情報共有はリクエストに応じて行っている。ただし、DSI が計測しているのは、ダム等に関連するエリアのみである。したがって、TCDD の線路に近い位置での水位計測等はしていない、網羅的な観測網には必ずしもなっていない。
- 洪水の早期警報は、DSI 内部利用のみであり、外部へは配信していない。
- 河川のモニタリングには、一般的な計測機器を使っている、加速度計や水位計等が使用されている。

⁸ <https://deprem.afad.gov.tr/stations> （2024 年 4 月 22 日閲覧）

- e.) TCDD からの要望により河川の観測データの提供に協力したことがある。また、鉄道事業者が自前の防災システムを配備する場合に、DSI の情報を活用することは可能であるが、これまでに TCDD から依頼があったことはない。
- f.) DSI が持っている防災ネットワークシステムも、日本の PreDAS に近い構造、構成である。

防災管理における DSI の役割

- a.) DSI の仕事は洪水管理、(一部は地域自治体にも移管)、事前防災、復旧対応、事後防災である。市街地においては、その自治体が対応する。
- b.) DSI の活動は、Structure と Non-structure に分かれる。洪水管理の設備を作るのは Structure の仕事である。Non-structure は、モニタリングと警報 (Early-Warning system) を管理している。(MGM が気象予報を管轄しているので、河川に関する情報収集)。
- c.) 洪水管理と河川モニタリング情報の一元管理について：一部の河川管理、都市洪水対策関係のインフラ建設・管理は自治体が担務しており、DSI は河川洪水の担務である一方で、ダム、治水、河川管理も大きな仕事である。そのため、全ての洪水管理を DSI が担えず、データ収集に限界があり (city flood のデータを収集していない)、一部を自治体に任せている。
- d.) 洪水発生後には事後対応、インフラ施設の健全度や被害状況の評価等を DSI が行う。DSI の管理する設備の復旧は DSI で行っている。洪水発生時の河底清掃の実施は DSI だが、それ以外の鉄道設備に関しては各鉄道事業者 (インフラ側) で実施することになる。
- e.) 鉄道設備、構造物の復旧を DSI が行った経験がある。ただし報告書は無い。DSI は Scope がないものは手を出せないが、河床 (river-bed) は管轄範囲である。
- f.) 災害発生時には Crisis-Coordination センター (発生地域に設置) で情報を共有するが、その場合には DSI、AFAD も参加する。そこでは各関連省庁の能力に応じて、情報や要員、装備を共有する。したがって、事後防災対応の体制は整っている。また、DSI 内部で警報が上がれば、内部で共有しているが、AFAD とは共有していない。基本的に DSI の警報は外部との共有は考えていない。

その他の DIS に関する情報

- a.) 計測機器や洪水に対する設備の設備投資は、政府予算で全額賄われている。
- b.) 国内の関連省庁から支援を受けた事例はない、近年 AFAD に装備を貸し出した事例はあるが、それだけである。
- c.) 河川洪水対策のための基準は、DSI の責任において Criteria 等を決めている、従わない場合にはその設計をした主体に責任が生じる。なお、耐震の基準は環境都市気候変動省の責任において設定されている。

(3) レーダーによる気象観測網

MGM はトルコ国内において、気象観測を実施している。トルコ国内において、最大の気象情報提供主体であるほか、気象データを集積している。なお、MGM によれば、一部小規模の民間気象会社があるものの、鉄道気象サービスを提供している会社はないとのことであった。

トルコの MGM は世界気象機関 (World Meteorological Organization : WMO) の観測ネットワークに加盟しており、気象レーダーに関しても情報を公開している。WMO のホームページで確認すると、

17基のCバンドレーダーと、4基のXバンドレーダーによる観測網を有していることが確認できる。



注：緑色がCバンドレーダー、赤色がXバンドレーダーの位置を示す。

出典：WMO ホームページ⁹

図 1-13 WMO の公開する気象レーダーのネットワーク

6月25日にMGMへのヒアリングを実施し、MGMが所有する気象観測網や防災管理における役割に関して情報を収集した。ヒアリング調査の結果概要は以下のとおりにとめる。

- 観測網は、2000個の自動観測(雨量、温度、風速、風向)、18の気象レーダー、41の落雷検知、9箇所のラジオゾンデを用いた観測を行っている。これらのデータは予報に使われ、その結果、アラートが必要となれば発令する。
- MGMの業務には、各ステークホルダーに情報提供をすることがあり、ステークホルダーには政府機関、市民(地域住民)、その他が含まれる。ステークホルダーの参加するコミュニケーションプールには一斉に情報を伝達可能である、MGMモバイルアプリケーションでも情報を提供している。なお、MGMが出せるのは、あくまでも地域ごとの予報と警報であるが、これを道路関係者や航空関係者が利用している事例がある。
- MGMは防災ではなく、観測や予報を担う。またアラートを発令する際には、それが災害を起こすか起こさないかに関わらず、発令する。アラートの内容は、起こり得る災害等を情報提供して、警報を送るものである。なお、各気象条件が実際にどのような災害を引き起こすかはその状況、環境にも拠るので、あくまでもMGMの責任範囲は警報を出す迄である。発令の基準はMGMが調査して、決めた基準に沿って出している。
- 災害のRisk評価、ダメージアセスメントや予測はMGMの担務ではない。
- TCDDが気象情報を使いたいのであれば、Webでアクセス可能であるが、常時あるいは明文化されたデータ共有体制ではない、過去に鉄道事業者提供した実績もない。

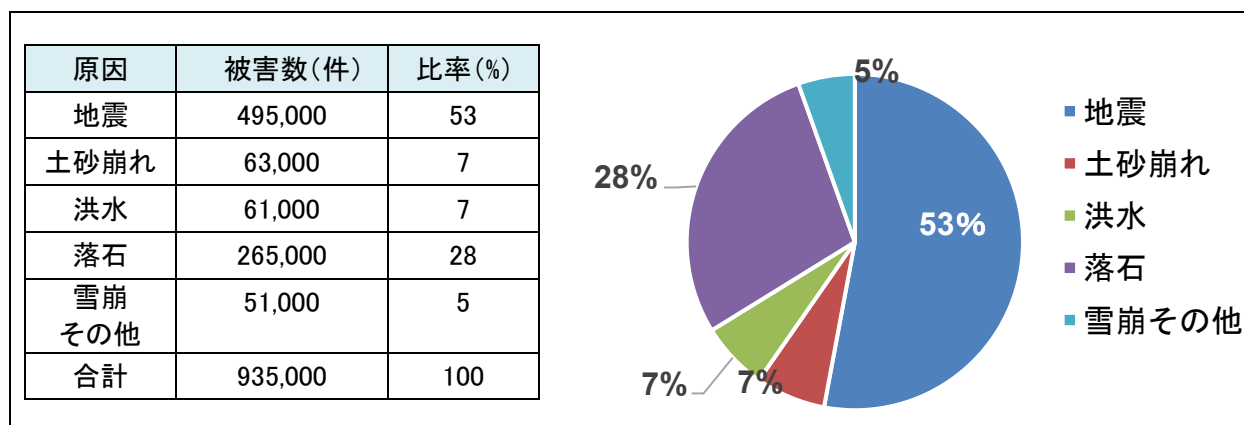
⁹ <https://wrd.mgm.gov.tr/Home/Wrd> (2024年4月22日閲覧)

- f.) MGM が特定の産業セクターに対して、気象コンサルティング等のサービスを提供した事例はない。MGM の業務はあくまでも、全般的な気象情報の提供であり、特定のセクターのためのサービスを提供することではない。
- g.) 他の省庁との協業体制はあり、AFAD 等のいくつかの省庁にリアルタイムで情報を提供している。前提として、要請があれば提供することは可能となっている。
- h.) 外部の企業に対しては、自動観測データを販売することができる。

第2章 鉄道沿線の災害リスク

2.1 トルコにおける災害リスク

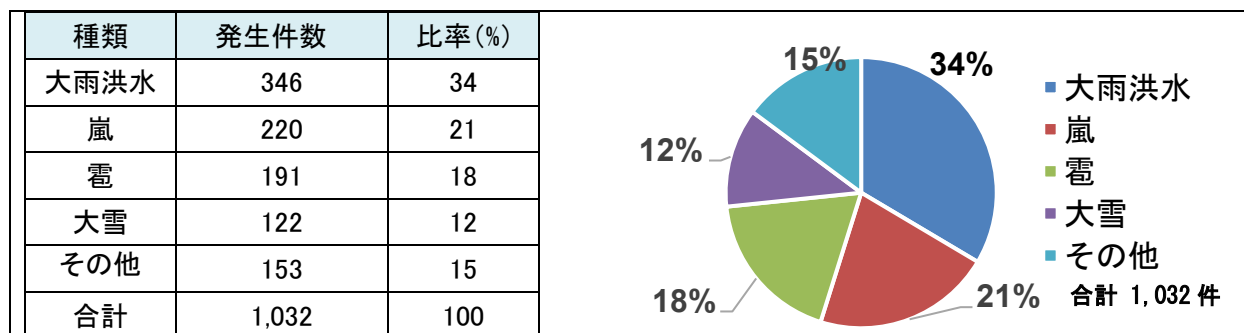
トルコ国内における鉄道の災害リスクを把握にあたり、2008 年トルコ政府発行の資料による、最近 100 年間のトルコ国内での自然災害の発生状況を取りまとめた（図 2-1）。自然災害により崩壊した建物の 90%以上を地震、土砂崩れ（地すべり）、洪水および落石による被害が占めている。



出典: TURKISH REPUBLIC COUNTRY REPORT ON DISASTER MANAGEMENT (2008)のデータをもとに調査団にて作成

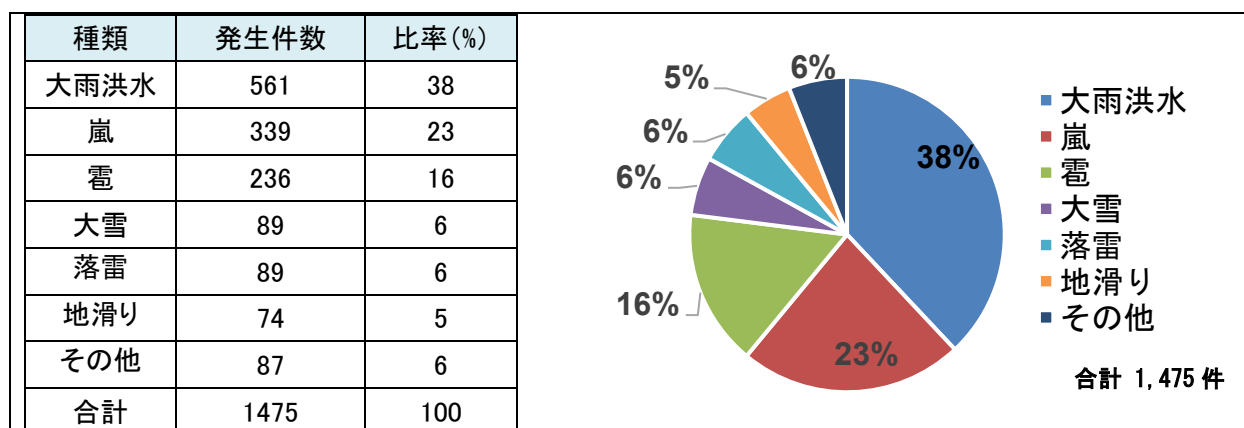
図 2-1 最近 100 年間の自然災害による建物被害

次に、2022 年ならびに 2023 年におけるトルコ国内における気象災害件数は、それぞれ 1,032 件、1,475 件であり、内訳を図 2-2 ならびに図 2-3 に示す。気象災害のうち大雨洪水の発生件数の推移（1940 年～2022 年）を図 2-4 に示す。発生件数に占める大雨洪水の割合が最も高く、大雨洪水の発生件数は近年増加傾向にある。



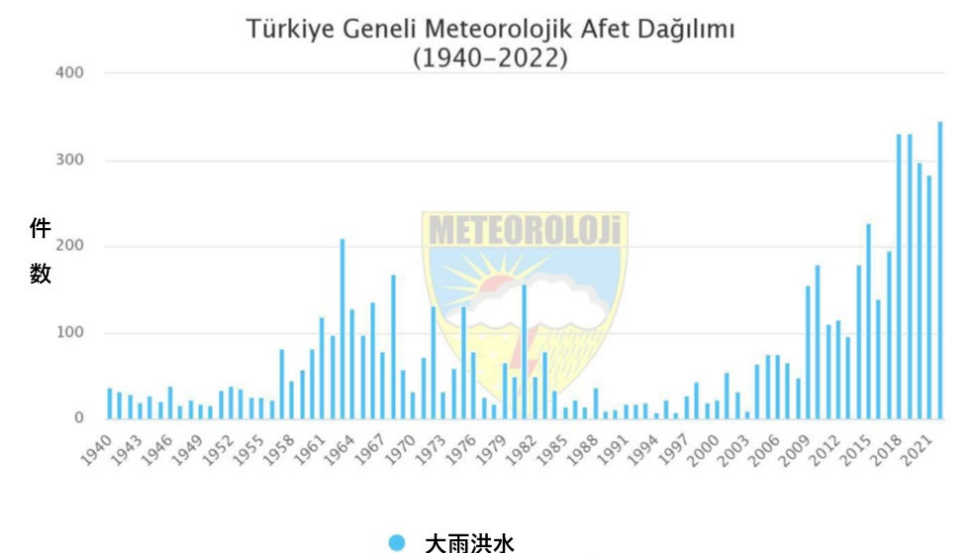
出典: MGM “2022 Meteorological Disasters Assessment”のデータをもとに調査団にて作成

図 2-2 2022 年における気象災害件数の内訳



出典:MGM “YEAR 2023 CLIMATE ASSESSMENT” のデータをもとに調査団にて作成
(各種類の発生件数は合計件数と比率をもとに調査団で算出)

図 2-3 2023 年における気象災害件数の内訳



出典:MGM “2022 Meteorological Disasters Assessment”

図 2-4 トルコにおける大雨洪水の発生件数の推移（1940 年～2022 年）

2024 年 2 月の現地渡航にて、TCDD と本調査に関わるセッション・意見交換を行い、TCDD 側の課題認識把握等を通じて、災害リスクの具体的メニューを整理した。

情報共有セッション（図 2-5）では、トルコ・シリア地震の際に TCDD でも斜面崩壊や落石により路線が寸断されていることが紹介された。また、高速鉄道においても、豪雨による冠水災害が、2020 年～2023 年までに 19 回発生していること、および対策として、線路を一時撤去したうえでの盛土掘削による横断管路設置を行っていることが紹介された。



出典：調査団

図 2-5 TCDD との情報共有セッション

以上をふまえ、本調査が対象とする鉄道防災システム構築にあたり、対応すべき優先順位が高い災害として、地震などによる「斜面崩壊」「落石災害」、大雨洪水による「線路冠水」になることを確認した。

2.2 実証実験に向けた災害リスクスクリーニングの実施

2.2.1 TCDD のカラビュック～フィリヨス間における災害リスクスクリーニング

2024 年 2 月の現地調査では、実証実験の対象線区とした TCDD のカラビュック（Karabük）～フィリヨス（Filyos）間（図 2-6）における災害リスク等を把握するため、カラビュック駅において、駅長と運行管理者より路線の概要説明とヒアリングを行った。ヒアリング結果を以下に示す。

- カラビュックには製鉄所があり、黒海沿岸の港で荷揚げされた鉄鉱石と石炭のカラビュックへの輸送、ならびに、製造された鉄製品のトルコ各地への輸送することを担う、重要な拠点である。鉄道開業から 130 年が経過しているとのことであった。
- 2023 年の豪雨災害発生件数が過去 30 年で最多であり、豪雨後は地下水位上昇が原因とみられる、トンネル内湧水もひどくなる。
- 落石災害も多く、年間 6～7 件発生している。2024 年 1 月には貨物列車が脱線した。



出典: UEIM 資料に調査団が加筆

図 2-6 実証実験対象線区と行政地域区分



出典: 調査団

図 2-7 カラビュックでのヒアリング

ヒアリング後に、TCDD 保守用車に添乗し、カラビュック～フィリョス間の約 90km を前頭巡回の形で現地確認を行った。

現地確認において、約 100 年前の施工と言われる落石防護工（擁壁）（図 2-8）や落石防護ネット（図 2-9）、コルゲートトンネルなど、落石に対するハード対策が TCDD により行われていることを確認した。なお、TCDD の限られた予算の中でのハード対策にも限界があり、センサー等の鉄道防災システムの活用可能性も確認することができた。



出典：調査団

図 2-8 100 年前施工の落石防護工



出典：調査団

図 2-9 TCDD による落石防護工設置

カラビュック～フィリヨス間の特に前半部 50km 程度は山岳区間であり、切取・河川横断橋りょうが多く（図 2-10）、日本の山岳部路線（上越線、土讃線等の山岳部）と似ている面もあった。鉱物資源調査・探査総局（MTA：General Directorate of Mineral Research and Exploration）の資料（図 2-11）によると、カラビュック～フィリヨス間の沿線には地すべり箇所も含まれている。地質図による地質区分（図 2-12）と対比してみると、砕屑岩・炭酸塩岩（始新世前期～中期）の地域では地すべりが広い範囲で記録されているが、砕屑岩・炭酸塩岩（白亜紀前期）の地域では限られた地域での地すべりの記録となっている。白亜紀は始新世より古く、同じ砂屑岩・炭酸塩岩でも、白亜紀の地質の地域は硬く急峻な地形を形成し、一方で、始新世の地域はなだらかな地形を形成している。

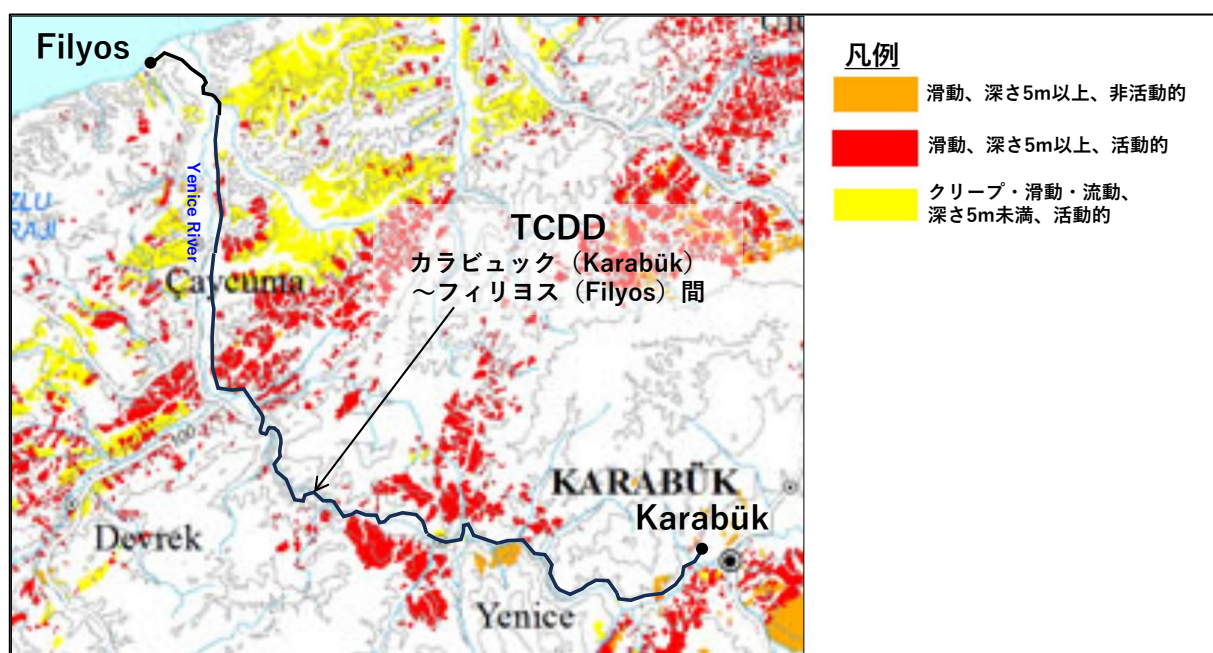
なお、日本の上越線・土讃線の山間部では過去に大きな土砂崩壊・落石による災害が起きている。1972 年 7 月に土讃線繁藤駅付近にて大雨による土砂崩れが起き、繁藤駅に停車中の列車が土砂崩れにより押し流されるという災害が起きている。

また、1977 年 3 月に上越線津久田・岩本駅間にて、重量約 30t の岩石が山腹斜面より落石止めコンクリートよう壁を壊し乗越えて線路上に落ち、その岩石に急行列車が衝撃し脱線するという事故（死者 1 名、負傷 109 名）が起きている（図 2-13）。この事故により、落石対策が進むきっかけとなり、落石等に対する防災施設整備の強化、国による防災補助金の拡充、落石対策の手引きの作成などがなされた。



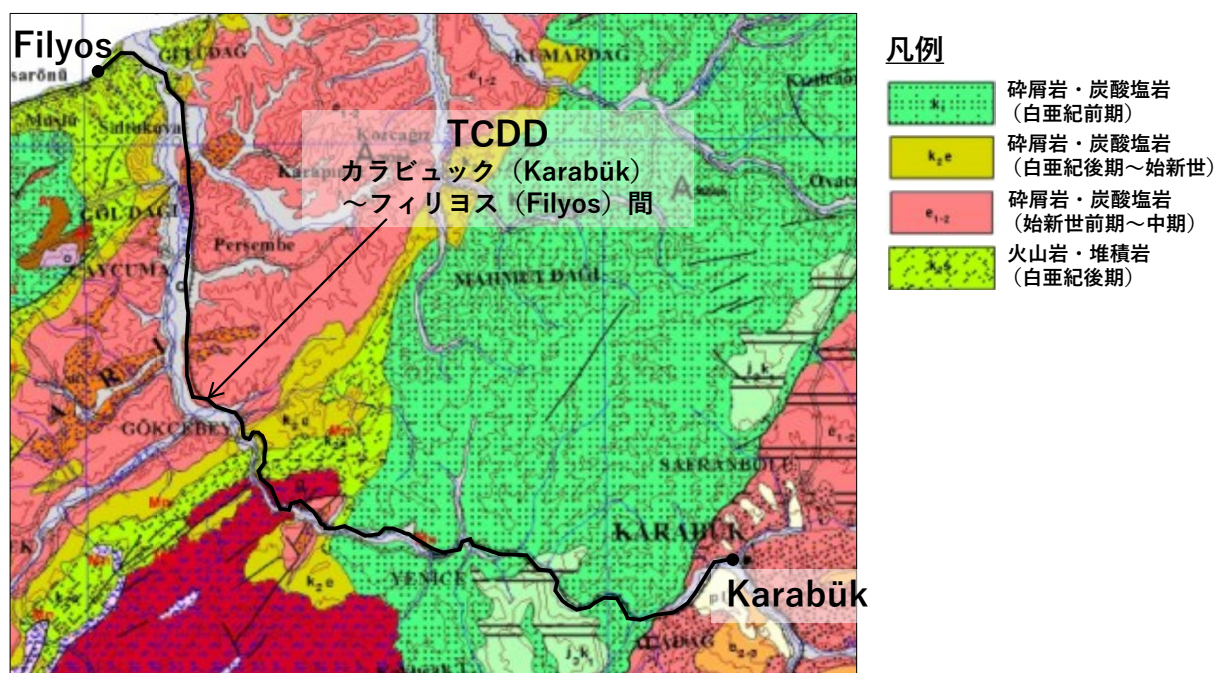
出典：調査団

図 2-10 切取区間および河川に沿う山岳路線



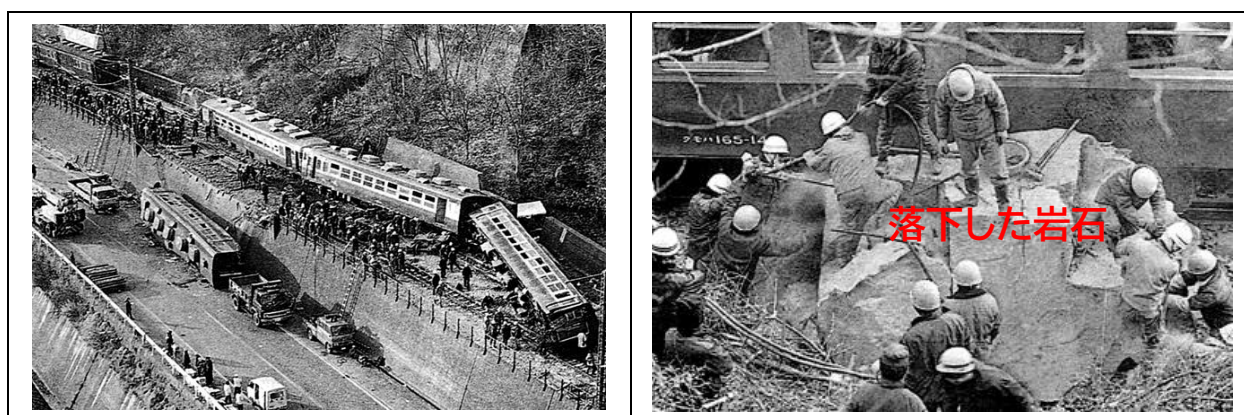
出典：MTA, “1:1,500,000 Scale Landslide Inventory Map of Turkey” (2011 年 5 月)の抜粋に調査団が加筆

図 2-11 地すべり目録地図による地すべり箇所



出典: MTA, “1:500,000 Scale Geological Map of Turkey” (2002 年)の抜粋に調査団が加筆

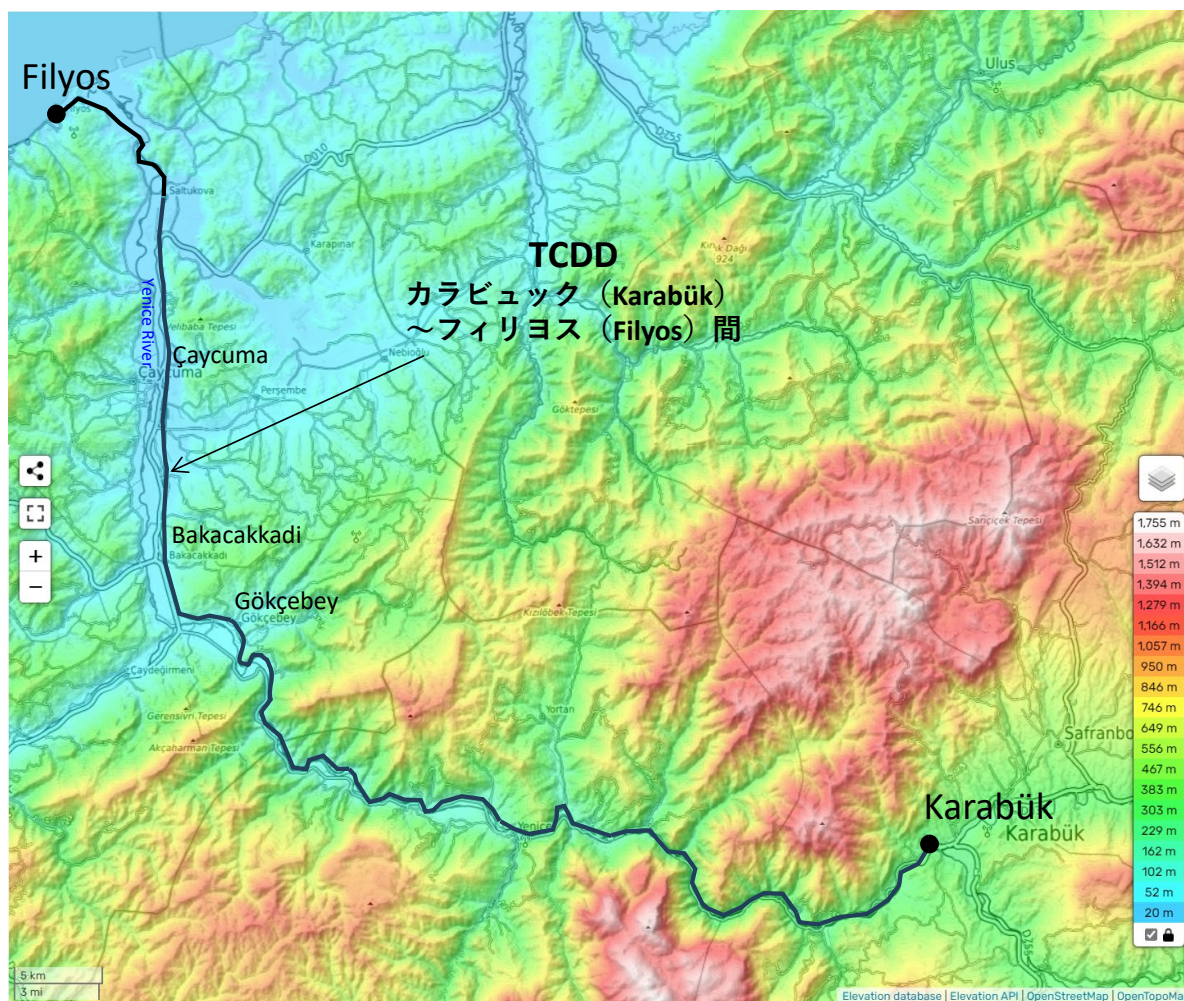
図 2-12 地質図による地質区分



出典: 調査団

図 2-13 1977 年 3 月 上越線津久田・岩本駅間 脱線事故の様子

山岳地帯を抜けた後のイエニジェ川 (Yenice River) 沿いの比較的平地を通る区間においても、東西は標高が川沿いに比べ高くなっており (図 2-14) イェニジェ川に向かって傾斜となっているため、イェニジェ川に向かって集水される地形となっている。このため、山岳区間のみならずイェニジェ川沿いの平地を走る区間においても、大雨による冠水の危険はある。

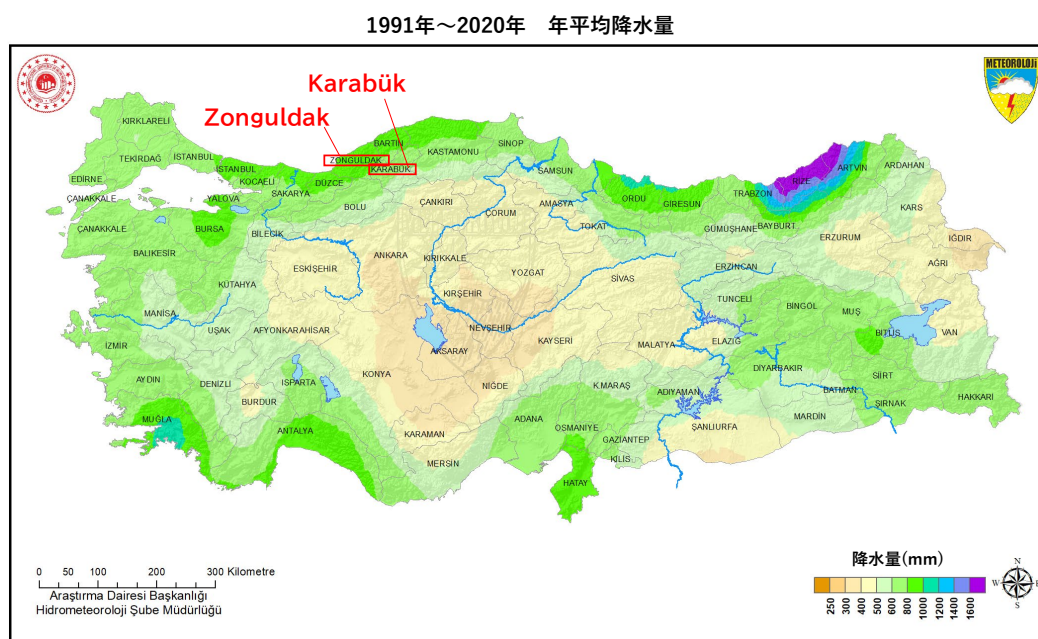


出典：OpenTopoMap

図 2-14 当該区間沿線の標高

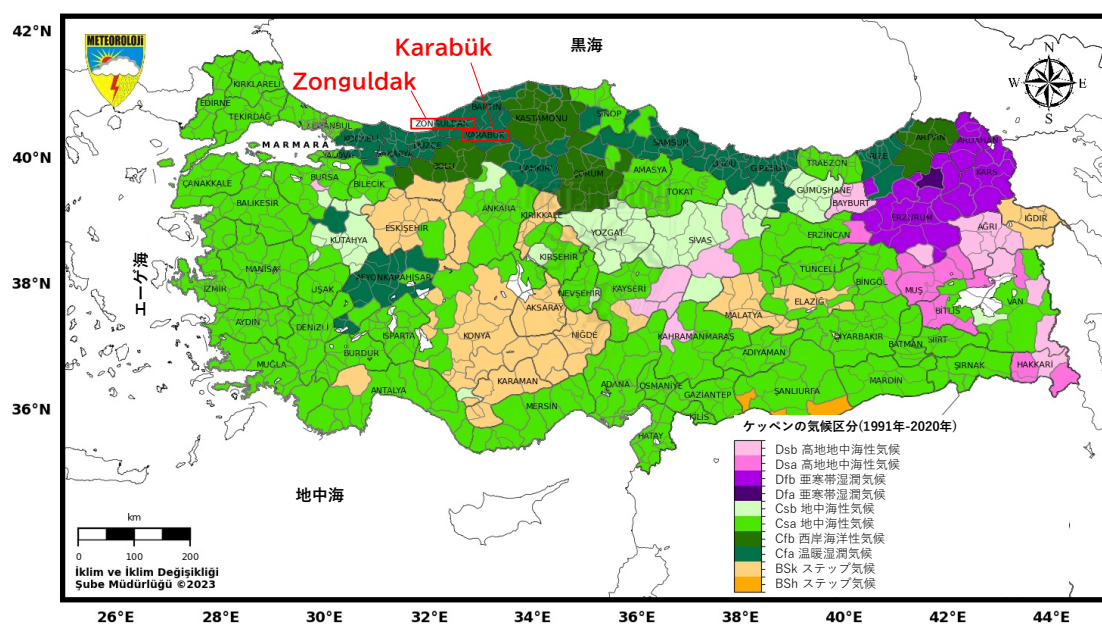
トルコ国内の各地域における年間降雨量（1991 年～2020 年の平均）を図 2-15 に示す。また、ケッペン気候区分を図 2-16 に示す。当該線区が含まれるカラビュック（Karabük）県ならびにゾングルダク（Zonguldak）県は、黒海近くの温暖湿潤気候により、トルコ国内では比較的雨の多い地域である。

カラビュック県ならびにゾングルダク県の月ごとの平均降水量・平均降雨日数を図 2-17、図 2-18 に示す。夏の降水量が比較的低いもの年間を通して降水のある地域である。黒海に面するゾングルダク県はカラビュック県に比べ年間降水量が多く、東京の年間降水量（1396.5mm（2023 年））に近いものとなっている。



出典:MGM ホームページ¹⁰における図に調査団が加筆

図 2-15 トルコにおける年間降雨量（1991 年～2020 年の平均）

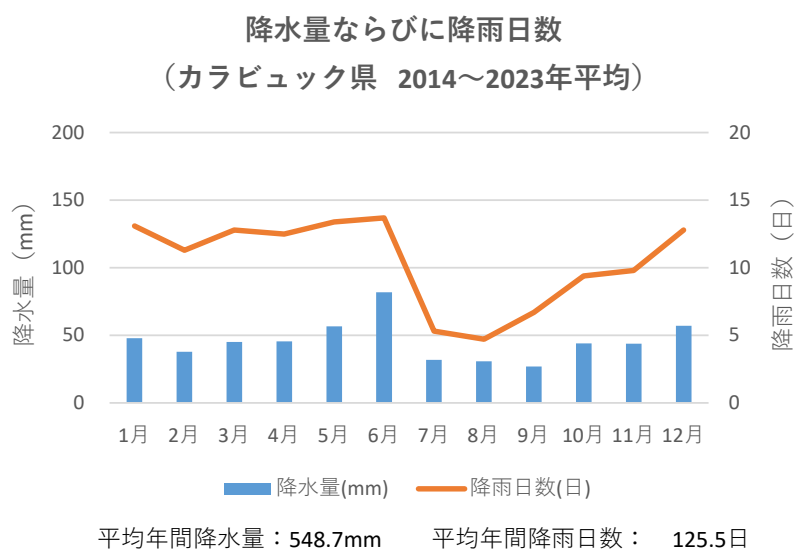


出典:MGM ホームページ¹¹における図に調査団が加筆

図 2-16 トルコにおけるケッペンの気候区分（1991 年～2020 年）

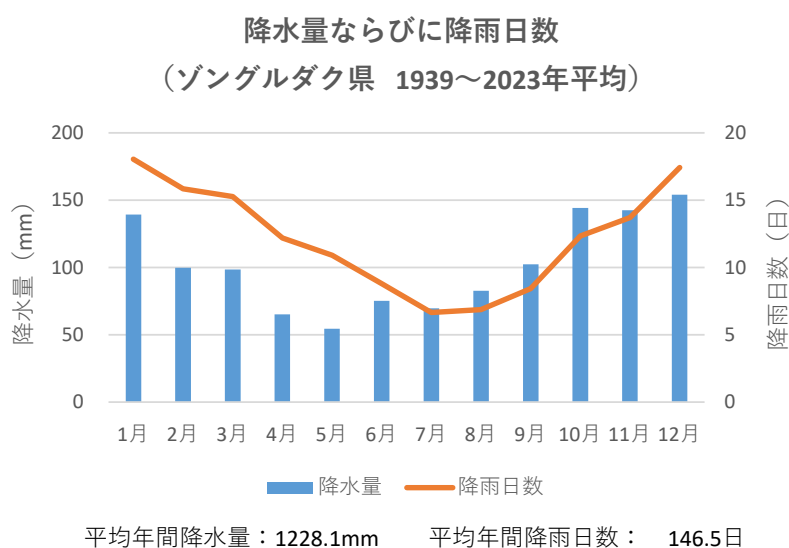
¹⁰ <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/yagis-raporu.aspx?b=k#sfB> (2024 年 11 月 19 日閲覧)

¹¹ <https://www.mgm.gov.tr/iklim/iklim-siniflandirmalari.aspx> (2024 年 11 月 19 日閲覧)



出典:MGM ホームページ¹²⁾に情報をもとに調査団にてグラフを作成

図 2-17 カラビュック県における月ごとの降水量ならびに降雨日数



出典:MGM ホームページ¹³⁾に情報をもとに調査団にてグラフを作成

図 2-18 ゾングルダク県における月ごとの降水量ならびに降雨日数

以上より、実証実験対象線区における災害リスクは、山岳地帯による「斜面崩壊」「落石災害」および大雨による「大雨に起因する線路横断河川の氾濫」があることを確認した。

2.2.2 コンヤ地区におけるシンクホールのもたらすリスク

当初の 2024 年 2 月の現地渡航・調査時には実証実験対象区間に含まれていなかったが、その後の

¹²⁾ <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=KARABUK> (2024 年 11 月 27 日閲覧)

¹³⁾ <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ZONGULDAK> (2024 年 11 月 27 日閲覧)

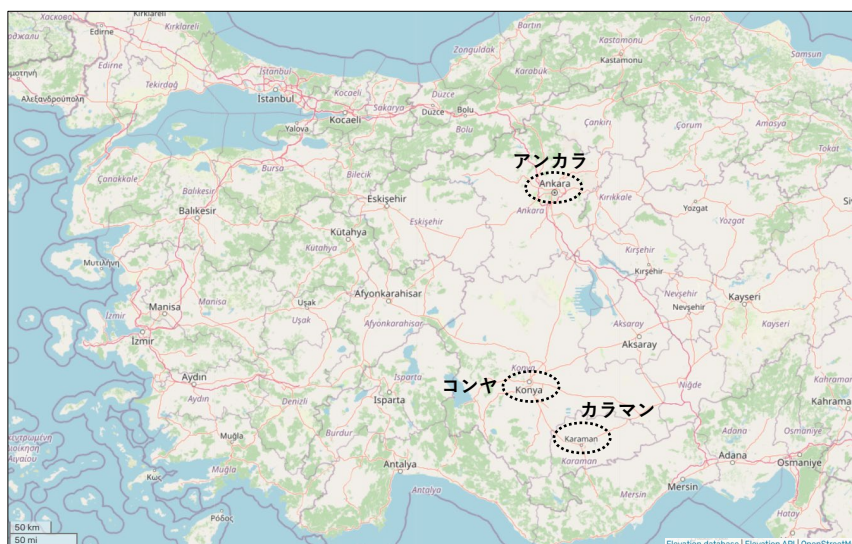
TCDD 側からのリクエストを踏まえ、カラビュック～フィリヨス間に加えて、周辺地域でシンクホール（図 2-19）が発生している、TCDD 高速鉄道アンカラ～カラマン線のコンヤ付近～カラマン付近の区間にて実証実験を実施することとなった。TCDD 高速鉄道線路付近にて地盤沈下・地割れが発生したことから、コンヤ県内で多く発生しているシンクホールが線路沿線でも発生するリスクが懸念されているとのことである。



出典：Google Map の航空写真に調査団が加筆

図 2-19 シンクホールの例（コンヤ県のカラプナル（Karapınar）地区）

コンヤ県は、アンカラ県の南側に隣接しており、中心都市であるコンヤは首都アンカラから南に約 230km 離れた場所に位置する（図 2-20）。コンヤの平原地帯において、シンクホールが多数発生している。¹⁴



出典：OpenStreetMap の地図に調査団が加筆

図 2-20 コンヤ・カラマンの位置

シンクホールは石灰岩でできた地形における可溶性岩盤の溶解によって引き起こされる局所的な

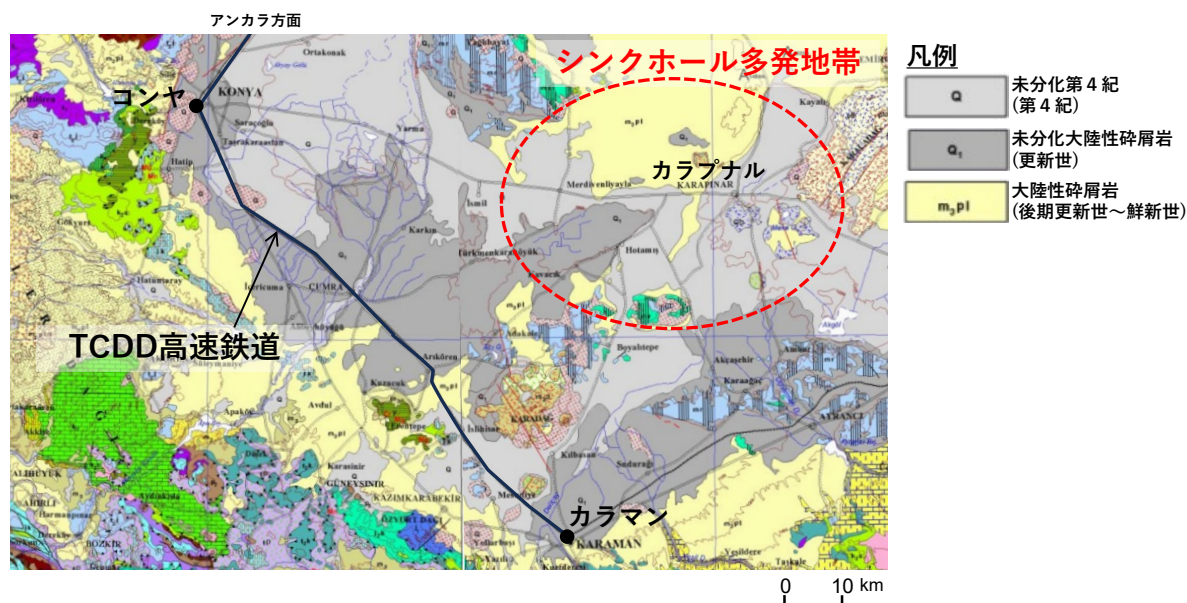
¹⁴ Surge in 'Turkey's granary' sinkholes imperils agriculture, Euronews <https://www.euronews.com/my-europe/2024/09/06/surge-in-sinkholes-in-turkeys-granary-endangers-agriculture> (2025 年 4 月 7 日閲覧)

沈下である。シンクホール発生の主な発生要因は、地質、水理、灌漑、降水、気候、土地利用変化、都市化がある。近年のシンクホールの発生が増加している原因は、気候変動、干ばつならびに灌漑のための地下水多量取水（地下水位低下）と考えられている。地表より下の水溶性の岩（石灰石、炭酸岩、塩岩など）が水に溶けることで空隙ができシンクホールの発生につながる。

地下水位の低下による影響として、岩石内の空洞が水で満たされなくなり静水圧が低下し、浮力による支持力が得られなくなることがあり、シンクホール発生の要因となる。シンクホールの大きさ・深さは様々なものがあり、数メートルのものから数百メートルに及ぶものがある。シンクホール発生の予兆としては、地割れ、建物傾き・ひび割れが事前に発生することがあるが、何も予兆が無いこともある。¹⁵

コンヤ県の中でも、これまでとりわけ多くのシンクホールが発生してきたカラプナル（Karapınar）地区の地質学的な特徴としては、厚い炭酸塩岩盤のためシンクホールが発生しやすいことがある。岩盤は三畳紀・ジュラ紀の大理石とドロマイトでできており、その上のジュラ紀・白亜紀のドロマイト石灰岩は重要な帯水層となっており、白亜紀の遠洋性石灰岩・砂岩・頁岩の層によって不整合に覆われている。さらに、この層の岩石の上に新第三紀中新世の堆積岩や火成岩が不整合に覆っており、この上部はもう一つの重要な帯水層となっている。そして、鮮新世の安山岩と玄武岩の火山岩がすべての岩石層の上に広がっている。また、植物の影響等で形成された泥灰土が、石灰岩の中に挟まれており、泥灰土が分解することで空洞の形成に影響を与えている。¹⁶

コンヤ・カラマン周辺の地質図を図 2-21 に示す。シンクホール多発地域と、高速鉄道沿線は同様な地質となっている箇所が多い。近年、シンクホールは発生件数だけでなく発生地域も広がっており、高速鉄道沿線でもシンクホール発生の可能性が高まっていると考えられる。



出典: MTA, “1:500,000 Scale Geological Map of Turkey” (2002 年)の抜粋に調査団が加筆

図 2-21 コンヤ・カラマン周辺の地質図

¹⁵ Information about the Sinkholes, Sinkhole Application Research Centre, Konya Technical University
<https://www.ktun.edu.tr/en/Birim/Index/?brm=7scBzLfww8qGvf0OCz3nOg==> (2025 年 4 月 7 日閲覧)

¹⁶ Fatih Sari et al, Evaluating sinkhole formation with multicriteria decision analysis: a case study in Karapınar-Konya, Turkey, Arabian Journal of Geosciences 2021

2.3 過去に自然災害によって発生した鉄道事故

2.2 で述べたとおり、斜面災害や河川などの氾濫リスクはトルコにおいて、既に顕在化していると考えられる。これは、過去に自然災害によって発生した鉄道事故の統計からも確認できる。

トルコでは MOT の下部組織である UEIM が鉄道を含む、各交通モードでの重大事故の統計データを記録している。本調査においては 2024 年 6 月に、UEIM へと過去の自然災害に起因する鉄道事故について聞き取りを行った。UEIM によれば 2024 年 6 月現在、2015 年以降で自然災害に起因する鉄道事故は 2 件であった。（2023 年の震災による留置車両の脱線を除く）これらはいずれも、降雨による斜面災害および道床流出が事故の原因である。

UEIM はトルコの法令上、事故と定義される事象が発生した場合にのみ、調査を行うことができる。このため、事故には至らなかったが危険があった事象等は上記の統計には含まれていない。UEIM の意見として、ニアミス事例等はもっと多くある可能性が高いとのコメントがあった。

なお、上記の 2（2016 年、2018 年）に対して UEIM は、調査結果に基づき再発防止策等の提言を行ってきた。これらの提言の履行状況については、UEIM 側にフォローアップ調査を行う人員が無いこと、UEIM の提言には法的な強制力がないことにより、確認できていないということであった。なお上記二件について、UEIM はいずれも乗務員、および関係する係員に起因しない事故と結論づけている。一方で、2018 年の事故については乗務員を含む関係係員が、刑事訴追を受けていることが確認できた。

なお、以下の事故情報は UEIM の事故報告書から、一部を抜粋してまとめた。

(1) 降雨後の斜面崩壊による列車脱線事故（2016 年発生）

- 発生日時：2016 年 11 月 6 日 01 時 30 分
- 発生場所：Karabük 県、Yenice 地区、Balıkısık – Bolkuş 駅間、311 km 650 地点



出典：UEIM 資料に調査団が加筆

図 2-22 事故発生箇所（2016 年）

- 被害状況（人的）：人的被害はなかった。
- 被害状況（設備）：120,743.44 TL の物損が発生
- 被害状況（車両および貨物）：
機関車への被害はなかったが、積載していた石炭 141 トンが散逸した。



出典：UEIM

図 2-23 車両等への被害状況

- 運行への影響：
13 時間におよび当該区間が閉鎖された影響で、3 本の旅客列車、1 本の貨物列車が運休となった。
- 概要：
Balıkısık - Bolkuş 駅間をカラビュック方面に走行中の貨物 24231 列車は、39km/h で線路上の岩石（60-70 トンと推定）と接触し、谷側へ 90 度回転しながら脱線して停止した。この結果、機関車のみならず編成の内、4 両の貨車が脱線した。
カラビュック駅の指令室では、事故直前の 00:30 頃に当該区間の信号システムに異常があったことを指令員が認めていた（図 2-24）。（注：UEIM 資料によれば、当該区間が Busy 状態であったと記載があった。崩落物によって軌道回路を構成するレールが破断した結果、列車の在線を検知し Busy になったと考えられる。）
当時この区間では新たな信号システムが導入されていたため、信号システムの異常動作が多発していた。また、この故障連絡を受け取ったメンテナンス担当者は、多発していた初期故障であると判断したため、明朝以降に対応を行うと返答していた
この結果、指令員は故障動作であると判断せざるを得ず、当該区間の進入を管理する BS-3125 信号機の停止信号を通過するように、貨物 24231 列車に指示した（図 2-25）。

Arıza ve ihbarı			Arızanın giderilmesi		
Tarih	Arıza	Makine ve imalat	Tarih	Arızanın sebebi ve gideriliş şekli	Arızayı giden ve imzası
03.11.2016	Silivri - Çekirge H6 3504 arıza Sant 21115 de Ardışık bakım yapıldı	03.11.2016	03.11.2016	Arıza giderildi	
04.11.2016	Kayadibi 0401 - mt 03-mt04 metastok flama gecti Sant 21101 de Ardışık bakım yapıldı	04.11.2016	04.11.2016	Tarikhinde Mt arızaları islah edilmştir.	
06.11.2016	Göbçebay köyü 00051 TS 02 A enerji yek	06.11.2016	06.11.2016	Tarikhinde arıza islah edilmştir	
06.11.2016	Boluk - Buluk arazi 118 traktör maggisli yek	06.11.2016	06.11.2016	Tarikhinde arıza islah edilmştir	

出典:UEIM 資料

図 2-24 カラビュックの CTC センターにおける事故当時の故障記録

ÜKÜ-ZONGULDAK KIRMIZI SİYAL GEÇİŞ MÜSADELERİ						(M.5728 2.Sayfa)
NO	KIRMIZI SİYALIN GÖRÜLDÜ YER (Sinyal Numarası)	TREN NO	SAATİ	İZİN ALAN İLGİLİ	BLOK'UN DURUMU VE MAKASLAR İLE YAPILACAK SEYİR HAKKINDA TALİMAT	İMZA
1	Karabük S21	26001	00:59		Blok boz sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
2	3125	24231	01:20		118 traktör arıza	
3	Karabük S02	23562	01:05		H6 2935 arıza	
4	7053002	22430	01:07		Sinyal	
5	3098	22430	01:21			
6	3098	22430	01:22		Klm 311000 de Drag edon 24231 arıza Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
7	Karabük S21	22430	01:23		Blok boz sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
8	3125	22430	01:52		Blokta Drag edon 24231 arıza Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
9	3002	22430	05:25		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
10	Karabük S02	22430	06:03		Sinyal arıza	
11	7053002	22430	06:37		H6 2935 arıza	
12	Karabük	22430	06:44		Sinyal arıza	
13	3098	22430	06:51		Klm 311000 de Drag edon 24231 arıza Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
14	3098	22430	06:55		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
15	Karabük S21	22430	07:30		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
16	Zonguldak S02	22430	07:55		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
17	" 332	22430	07:57		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
18	53003	22430	07:58		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
19	Karabük S11	22430	08:30		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
20	40321 S01	22430	08:30		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
21	40321 S31	22430	08:30		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
22	40321 S01	22430	10:00		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
23	3002	22430	11:03		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
24	3002	22430	11:29		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
25	3002	22430	12:42		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
26	3125	22430	14:41		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	
27	3002	22430	22:30		Blok boz Sinyalı geçiş ile ilgili H6 2935 arıza	

出典:UEIM 資料

図 2-25 指令員による停止信号への進入許可記録

■ 事故防止への提言等：

事故当時、当該区間は老朽化が進んでおり、設備更新を継続的に実施している最中であった。しかし 2000 年代以降、メンテナンス要員が削減され、落下のリスクがある岩石の除去などを行ってきたものの、斜面全体へのリスク管理が十分に実施できなかったことが確認された。また、事故原因となる崩落は、落石ではなく斜面崩壊であると結論づけられた。

なお、TCDD の規程によれば、メンテナンス担当者に対して指令員が、即座に点検を行うように指

示する権限が無かった。更に、異常が発生した場合の対応を取り決めたマニュアルにも、実際の各部門の動きを明確化したシナリオがなく、結果としてメンテナンス部門が現場を確認することなく列車を進入させてしまった。

このような状況を踏まえ、UEIM は事故報告書において、以下を提言している。

- ✓ 故障や異常が発生した際の指揮命令系統、権限等を明確化すること。
- ✓ 故障、異常が発生した場合の発生から対応までのシナリオを設定して、対応手順、各部門の役割等を明確化すること。
- ✓ 自然災害により発生した斜面崩壊、落石等を検知する装置（センサー類）と信号装置を統合した、防災システムの配備を検討すること。
- ✓ 予防保全を含む、定期的かつ効率的な土木構造物のメンテナンスを行うこと。

(2) 道床流出による列車脱線事故（2018 年発生）

- 発生日時：2018 年 7 月 8 日 17 時 15 分
- 発生場所：Tekirdağ 県、Çorlu 地区、Balabanlı-Çorlu 駅間、161 km 955 地点



出典：UEIM 資料

図 2-26 事故発生箇所（2018 年）

- 被害状況（人的）：死者 25 名、重軽傷者 268 名
- 被害状況（設備）：信号装置器具箱、高圧ケーブル等が損傷した。
- 被害状況（車両および貨物）：客車 6 両が脱線、内 5 両が全損となった。
- 運行への影響：貨物列車 23 本、旅客列車 7 本が運休
- 概要：

Uzunköprü から Halkalı（イスタンブール）へ向かっていた 12703 列車は、Balabanlı 駅において 342 名の旅客を乗せて発車した。時速 110km/h にて事故区間に差し掛かった際、機関車が鉛直方向に衝撃を受けたがそのまま当該箇所を通過した。衝撃があった箇所を通過した 1 号車の後方台車が脱線、2~5 号車が全軸脱線して横転、さらに 6 号車は全軸脱線後に 45 度傾いて停車した（図 2-27）。

当該箇所にはカルバートが設置されていたが、当日の 14:00-15:30 の間に地域の年間降雨量の 5% に当たる 32.4mm の降雨が観測された。この局地的な豪雨により、盛土でダムアップが発生し、道床が流出したと考えられる（図 2-28）。上記の雨量観測記録は当該区間に近い、Muratlı に設置された MGM の自動観測所において記録されている。



出典:UEIM 資料

図 2-27 事故後の状況



出典:UEIM 資料

図 2-28 事故直後のカルバート

■ 事故防止への提言等：

当該区間は平たんな区間であり、蛇行するチョルル川に沿って線路が敷かれている。当該区間は複数のカルバートが、河川に向って線路を横断していることが確認できる。

事故があったカルバートは事故当時、設置から 145 年が経過していた。当該カルバートの点検はマニュアルに定められた通り、年二回 TCDD により実施されていた。事故の直前は 2018 年 5 月に実施されている。この点検の際には、カルバートの流路は正常であり特段、補修等を必要としないと判断された。一方で 2018 年 6 月には TCDD の部内において、夏季に異常な量の降雨が予想されているこ

とが勧告されている。

しかし、当該箇所に発生した降雨は局地的であり、且つ TCDD 内部、外部観測機関からの情報は共有されていなかった。また直前の列車との間隔が7時間開いたことにより、結果的には降雨が生じていることが運行管理やメンテナンス部門に正しく伝わっていなかった。このため、盛土で発生したダムアップによる道床流出後の最初に通過する列車で事故が発生した。

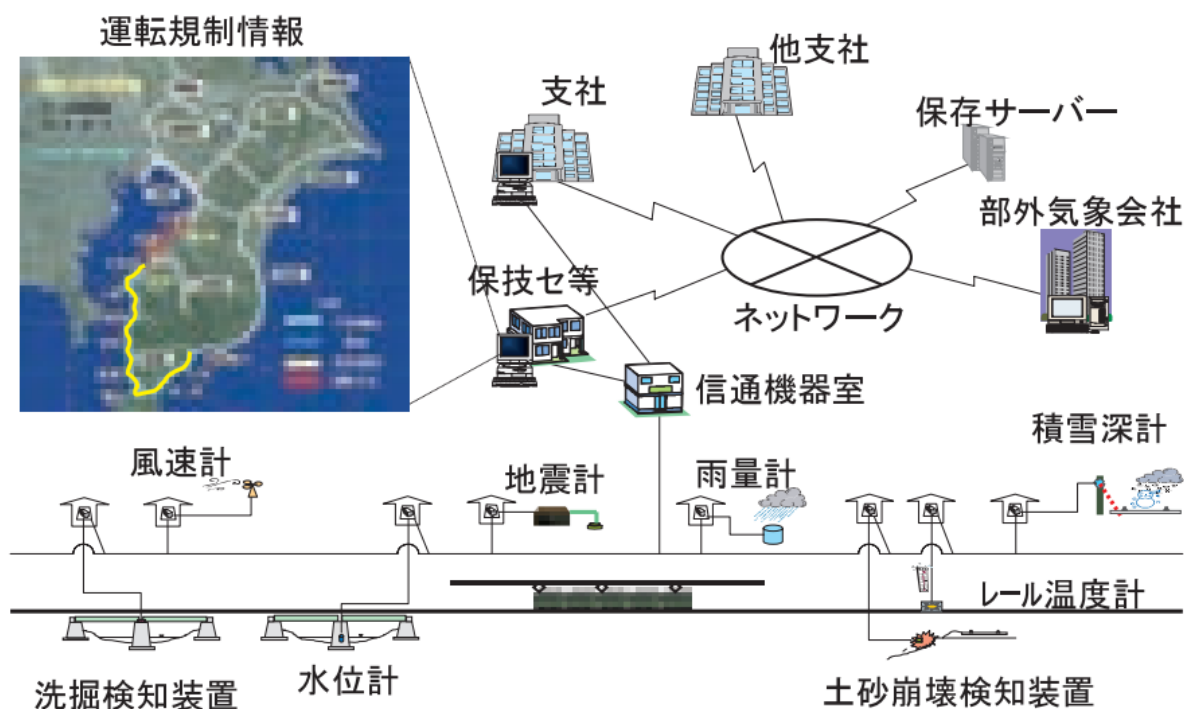
これらを踏まえ、UEIM は以下を提言している。

- ✓ センサー類を用いた、土木構造物の変位、破壊を検知するシステムの実装にむけて実証を行うこと。
- ✓ カルバート、橋梁の内、設置後 100 年以上を経過しているものについて、その水路の流量を現況の気象および水文調査に基づいて再調査し、必要な場合には措置を講じること。
- ✓ MGM との情報共有体制の確立すること、さらに MGM は TCDD に対して気象データの活用に関して、基礎的な教育訓練を提供すること。
- ✓ 夏季に発生する局地的な降雨に対する対応手順、規程類を整備すること。
- ✓ マニュアルに定められているメンテナンスを実現できるように、組織体制を強化、是正すること。

第3章 鉄道防災システムの内容・仕様の検討

3.1 システムの内容

防災システムとして JR 東日本では防災情報システム（以下：プレダス）を設置している。これは、自然災害を検知するために鉄道沿線に設置されている地震計、風速計、落石検知装置などの防災用観測機器のデータを指令に伝送し、速度規制や運転中止などの規制発令および警報鳴動するシステムである（図 3-1）。あわせて、規制発令後の線路設備・土木設備の点検業務の管理も可能となっている。



出典：JR 東日本

図 3-1 プレダスの概要

一方で、プレダスは 1990 年に運用が開始されたシステムのため、全ての機器が通信線と電源線に接続されたシステムであり、初期投資および維持管理費が大きくなる。そのため、本調査では、TCDD の災害リスクの対策として要件に合う鉄道防災システムとして、JR 東日本で運用実績がある沖電気工業製のゼロエナジー型のモニタリングシステム（以下：本システム）を選定した。

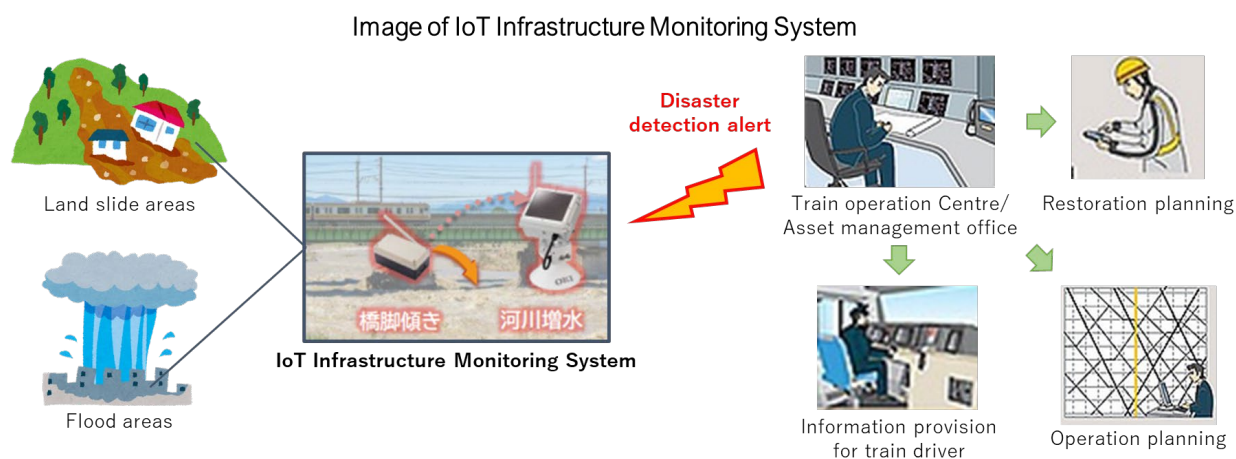
本システムは、2.1 で優先順位が高いとされる「土砂崩れ」、「落石」、「洪水」の対策として、災害リスクのある現場の状況を遠隔から常時監視するものである。その導入効果として、災害発生時の迅

速な状況把握を可能とし、被災の影響を最小限に抑えることが期待される。また、災害発生時の危険な現場に TCDD の管理者が駆け付ける回数を削減し、維持管理業務の安全性の確保も期待される。

TCDD が本システムを本格的に導入するための重要な要件として、導入容易性と高い信頼性が求められる。背景として、災害リスクのある山間部の現場では、電源や通信の配線は困難であるため、敷設する場合には大きな初期投資を要することが課題となる。

このため、本システムでは電池またはソーラー発電による駆動、および、無線ネットワークによるデータ伝送に対応することにより、電源、配線を不要とし、導入容易性が確保される。また、傾斜や水位の計測、および、画像の撮影における十分な性能、屋外の現場でも長期運用が可能な耐環境性、および、システムの安定稼働といった高い信頼性が求められる。このため、本システムの選定においては、JR 東日本等の日本の鉄道事業者で運用実績のあるシステムであることを条件とした。

本調査で導入するシステムの構成図を図 3-2 に示す。



出典:調査団作成

図 3-2 本調査において設置する防災システムの構成図

3.2 機器の仕様

本調査では、斜面崩壊、落石災害、豪雨による河川氾濫の対策を目的として、鉄道防災システムを導入する。そのシステム構築にあたり各機器の仕様を下記に示す。

(1) 共通要件

モニタリングシステムは、(2) に示す計測項目を、インターネット経由等により一つのシステム（ソフトウェア）で監視対象構造物の管理者等の表示端末（PC、携帯通信端末等）から遠隔で監視が可能であること。

(2) 計測項目

- (ア) 固有振動数
- (イ) 傾斜角
- (ウ) 静止画像（高感度カメラ）
- (エ) 水位

(オ) 機器の状態（バッテリー電圧、機器内温度、電波強度）

(3) 機器の構成および数量

モニタリングシステムは、下記に示す機器および数量により構成されること。

(ア) 加速度センサー装置

(イ) 高感度カメラ

(ウ) 超音波式水位計測装置

(4) 機器の必要条件

(ア) 加速度センサー装置は下記に示す仕様を満たすこと。

- A. 橋脚の固有振動数の計測機能を有していること。加速度センサー装置は、橋脚にかかる常時微動データからリアルタイムにピーク周波数を抽出し、伝送できること。
- B. 傾斜角計測に対応していること。単位は 0.01 度以下で、計測精度は±0.1 度以内であること。垂直 2 方向の傾斜角を同時に計測できること。
- C. 10 分周期で傾斜角を計測した場合でも、外部からの電源供給および電池交換を要せず 3 ヶ月以上動作すること。
- D. その他、下表（表 3-1）の仕様を満たすこと。

表 3-1 加速度センサーに対する要求仕様

項目		要求仕様
計測機能	固有振動数	計測軸: 3 軸
		計測レンジ: ±2G
	傾斜角	方向: 垂直 2 方向
		単位: 0.01 度以下
		精度: ±0.1 度以内
外形寸法(mm)		三方の長さの合計が 300mm 以内
重量		1kg 以下
通信	規格	LTE またはサブギガ帯無線
	伝送頻度	10 分に 1 回以上
装置監視	温湿度センサー	装置内の温度、湿度監視用
	電圧計測	バッテリー電圧低下監視用
マンマシン	LED 表示	起動確認用: 緑 1 個、異常通知用: 赤 1 個を搭載
インターフェース	保守ポート	USB 等
電源条件	使用電源	電池駆動
環境条件	温湿度条件	-20～60℃、10～95%RH
	保管温湿度条件	-20～60℃、10～95%RH
	防塵防水耐性	IP65 相当
環境対応		RoHS 準拠

項目	要求仕様
耐燃性	UL94-V0 相当
外観	

出典：調査団作成

(イ) 高感度カメラ

高感度カメラ装置は下記に示す仕様を満たすこと。

- A. 静止画を撮影し、LTE 通信機能により画像データを伝送できること。
- B. 高感度撮影機能に対応し、0.01lux の暗い環境下でも照明無しでクリアな画像を撮影できること。
- C. 高感度カメラ装置は、内蔵のソーラー発電パネル等により外部からの電源供給を要しないこと。
- D. 画像撮影および LTE 通信による伝送を 30 分間隔とした場合でも、不日照の条件下で 9 日間以上、継続して動作すること。
- E. 高感度カメラユニット部、ソーラー発電パネル、充電電池、LTE 通信部を全て内蔵した一体型の装置とし、寸法は縦横高さの三方の合計が 1000mm 以内（突起物を除く）で設置が容易であること。
- F. その他、下表（表 3-2）の仕様を満たすものとこと。

表 3-2 高感度カメラに対する要求仕様

項目		要求仕様
撮影モード		静止画撮影・自動高感度撮影
明るさ		0.01 lux で使用可（照明無しでクリアな撮影可）
最大画素数		FullHD 相当（1920×1080）
撮影タイミング		定期撮影
画角		水平方向 109 度以上／垂直方向 59 度以上
圧縮方式		JPEG
外形寸法(mm)		三方の長さの合計が 1000mm 以内
重量		6kg 以下
通信	規格	LTE 通信
	伝送頻度	30 分に 1 回以上
装置監視	温湿度センサー	装置内の温度、湿度監視用
	電圧計測	バッテリー電圧低下監視用
マンマシン インターフェース	LED 表示	起動確認用：緑 1 個、異常通知用：赤 1 個を搭載
	保守ポート	USB 等

項目		要求仕様
電源条件	使用電源	太陽光発電、二次電池
	動作条件	連続不日照環境下で 9 日間まで動作
環境条件	温湿度条件	-20～60℃、10～95%RH
	保管温湿度条件	-20～60℃、10～95%RH
	防塵防水耐性	IP65 相当
環境対応		RoHS 準拠
耐燃性		UL94-V0 相当
外観		

出典:調査団作成

(ウ) 超音波式水位計測装置

超音波式水位計装置は下記に示す仕様を、満たすこと。

- A. 超音波水位計測が可能で、LTE 通信機能により水位計測データを伝送できること。
- B. 超音波水位計測の精度は±1cm 以内であること。
- C. 超音波式水位計装置は、内蔵のソーラー発電パネル等により外部からの電源供給を要しないこと。
- D. 超音波水位計測および LTE 通信による伝送を 10 分間隔とした場合でも、不日照の条件下で 9 日間以上、継続して動作すること。
- E. 超音波水位計測部、ソーラー発電パネル、充電電池、LTE 通信部を全て内蔵した一体型の装置とし、寸法は縦横高さの三方の合計が 1000mm 以内（突起物を除く）で設置が容易であること。
- F. その他、下表の仕様を満たすこと。

表 3-3 超音波式水位計測装置に対する要求仕様

項目		要求仕様
測定方式		超音波反射式
計測範囲		計測部と水面の距離が 1～10 メートル
計測精度		±1cm
外形寸法(mm)		三方の長さの合計が 1000mm 以内（突起物を除く）
重量		6kg 以下
通信	規格	LTE 通信
	伝送頻度	10 分に 1 回以上
装置監視	温湿度センサー	装置内の温度、湿度監視用

項目		要求仕様
	電圧計測	バッテリー電圧低下監視用
マンマシン インターフェース	LED 表示	起動確認用：緑 1 個、異常通知用：赤 1 個を搭載
	保守ポート	USB 等
電源条件	使用電源	太陽光発電、ニッケル水素電池
	動作条件	連続不日照 9 日間まで動作
環境条件	動作温湿度条件	-20～60℃、10～95%RH、計測部-5～50℃
	保管温湿度条件	-20～60℃、10～95%RH
	防塵防水耐性	IP65 相当
環境対応		RoHS 準拠
耐燃性		UL94-V0 相当
外観		

出典：調査団作成

3.3 防災システムの導入等に向けた課題

3.3.1 TCDD における課題

TCDD では鉄道防災システムの運用実績がないため、災害発生時の運行規制ガイドライン等基準類の整備が課題となる。本課題に対して、今後ガイドラインの整備に際し考慮すべき事項を以下に示した。

- ・ 鉄道運行規制ガイドライン等基準類の整備
- ・ 構造物の設計図が遺失したなどの構造物の情報不足
- ・ 地質などの周辺環境の情報不足
- ・ 技術的検討を行う機関の選定/設立

3.3.2 機器における課題

(1) トルコ国における法令・規制への対応

トルコ国においては、EU 加盟国と同等の法令、規制への対応が求められ、機器はこれらに準拠する必要があった。詳細は表 4-4 に示す。

(2) 無線通信サービスの接続性

鉄道防災システムにおいては、無線ネットワークとしてトルコ国内の通信事業者が提供する無線通信サービスを利用した。このため、鉄道防災システムの計測装置を設置する現場が、無線通信サービスの提供エリアの範囲内であることを確認する必要があった。

本調査では、トルコで最大のモバイル通信事業者である **Tukcell** の協力を得ることにより、センサー導入の候補地における無線通信サービスのカバー状況を確認し、適切な箇所を選定した。

(3) 機器導入実現に向けた効果、有効性の認知向上

防災システムを用いて防災機能強化を実現するためには、現場の状況を遠隔で監視することで得られる効果を、TCDD に認知してもらい、導入に向けた具体的な取組みにつなげる必要がある。現状 TCDD 内では、防災や通常時の状態把握を目的としたモニタリング装置の本格導入が行われておらず、試行段階のものも有効性が確認されていない状態であった。

本調査では、TCDD における具体的な災害リスクのあるいくつかの現場に鉄道防災システムを導入し、実証実験を行うことにより、システムの有用性に関する理解を促進した。

実際に実証実験期間中に、実証実験機器が正常に落石を検知、伝送したことでその有効性を示すことができた。

第4章 パイロット実証実験

4.1 実施内容

4.1.1 斜面崩壊検知

落石または土砂崩壊の恐れがある斜面に、目視確認用の定点カメラ（例：通常時6時間間隔での静止画撮影）と、複数の加速度センサーを設置する。加速度センサーがある一定の値を超えて異常を検知した場合、管理箇所へ警告が発せられるのと同時に、定点カメラが高頻度の撮影（例：1分間隔での静止画撮影）に切り替わり、ほぼリアルタイムで管理者による目視確認を可能とする。



出典：調査団作成

図 4-1 斜面崩壊検知装置のイメージ

4.1.2 河川水位検知

洪水に対する鉄道防災システムは、落石・地盤傾斜を検知する防災システムと同様に、目視確認用の定点カメラに加えて、カルバートや橋脚に水量を計測する水位計を設置する。水位計がある一定の値を超えて異常を検知した場合、定点カメラによる目視確認を可能とする。

また、表示端末を落石・地盤傾斜を検知する防災システムと共有化することを可能とする。



出典：調査団作成

図 4-2 河川水位検知装置のイメージ

4.1.3 シンクホール発生検知

シンクホールが発生するリスクが高い線路沿線に、目視確認用の定点カメラ（例：通常時 6 時間間隔での静止画撮影）と、複数の加速度センサーを設置する。斜面崩壊検知と同様に、加速度センサーがある一定の値を超えて異常を検知した場合、管理箇所へ警告が発せられるのと同時に、定点カメラが高頻度の撮影（例：1 分間隔での静止画撮影）に切り替わり、ほぼリアルタイムで管理者による目視確認を可能とする。こちらも表示端末を共通化することが可能となる。



出典：調査団

図 4-3 シンクホール発生検知装置のイメージ

4.2 実証実験実施区間の選定

本調査では、災害スクリーニングを実施したカラビュック～フィリヨス間、およびアンカラ～カラマン間（高速鉄道線）において実証実験を実施した。

4.2.1 実証実験実施箇所の選定における検討項目

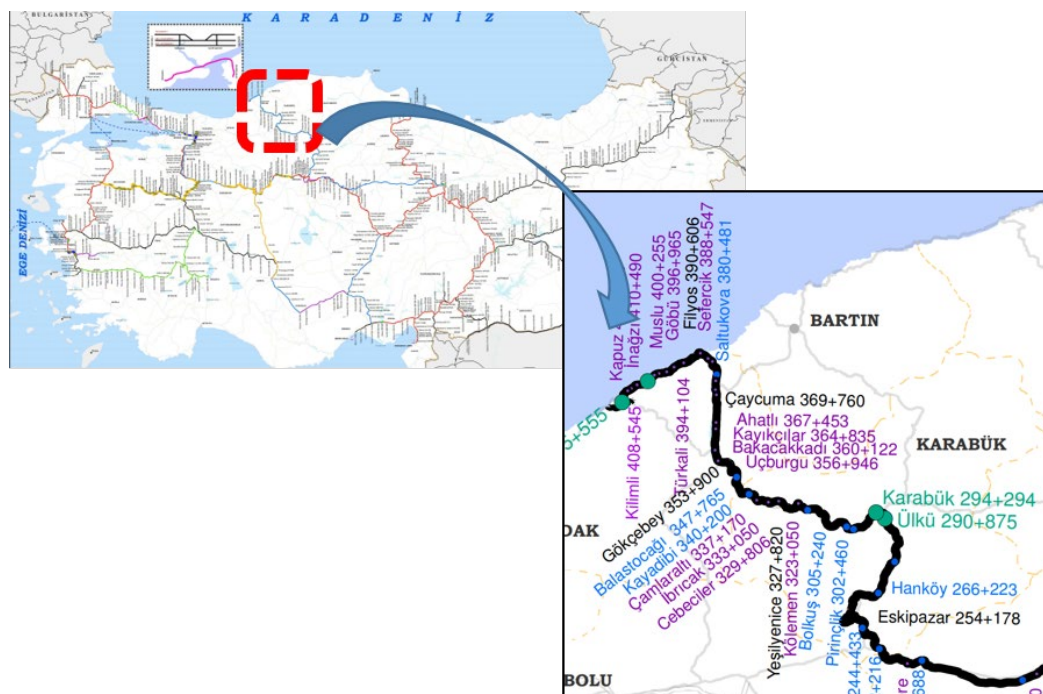
実施箇所の選定にあたり、検討した項目は以下の通りである。

- 区間の選定に関する項目
 - ・ 鉄道事故による想定被害の大きさ
 - ・ アクセス性（アンカラからの距離）※
 - ・ 線区の重要性（運行本数）
- 箇所の選定に関する項目
 - ・ 災害による鉄道事故の発生可能性の高さ
 - ・ 通信環境※
 - ・ 施工環境

※印は特に優先した項目を示した。

4.2.2 実証実験対象線区の状況

本調査においては、TCDD 側からのリクエストと現地調査を踏まえ、カラビュック～フィリヨス間およびアンカラ～カラマン間（高速鉄道線）での実証実験を実施することとした。



出典: TCDD 資料に調査団が加筆

図 4-4 実証実験対象線区の位置

(1) カラビュック～フィリヨス間

当該区間は極めて高い輸送需要に対応する必要がある、最大で一日 60 本（貨客含む）が運行しており、重要度が高い。また、2024 年 2 月現在でも、2024 年 1 月に降雨に伴う落石によって脱線事故が発生した区間では、落石の除去のために 1 日 4～5 時間程度、一時運行を停止して作業時間を確保している上記の観点を踏まえると、ハード側に手を加える大規模工事を、列車止めることなく実施することは現実的ではない。また、フィリヨス港に接続する駅が終端にあるため、運行を止めることは TCDD としてもオプションにないものとする。当該区間の概要を以下に示した。

表 4-1 実証実験対象線区（カラビュック～フィリヨス間）の概要

項目	内容
区間距離	96 km
列車本数	60 本（旅客列車 16 本を含む）
軸重	22.5 トン
営業速度	80km/h
信号システム	ETCS 1 (8 か所の行き違い可能な駅を含む)
運行管理	CTC(一か所の監理所から、各駅の信号等进行操作)

出典:調査団作成

当該区間は長大貨物の行き違いを見据え、750m のすれ違い設備を確保している。

TCDD が落石除去工事等を実施している箇所には、CTC に情報を伝送するカメラが設置されていることが確認された。また、それらのカメラを活用した災害検知や、それによる列車運行等の規定はないことが確認された。

(2) アンカラ～カラマン間

当該区間は高速鉄道路線として旅客輸送において重要な線区であり、将来はさらなる延伸が計画されている。昨年、線路の不陸が発生したことから、線路下の大規模な空洞が発覚し、コンヤ周辺で発生しているシンクホールが線路沿線でも発生するリスクが指摘されており、現在も調査が続けられている。なお、機器のモニタリングと徐行による対策を施した上で列車運行が続けられている。

表 4-2 実証実験対象線区（アンカラ～カラマン）の概要

項目	内容
区間距離	320 km
列車本数	高速列車 24 本（コンヤ-カラマン間は 10 本）
軸重	16.2 トン（HT65000 系）
営業速度	250km/h（コンヤ～カラマン間においては 200km/h）
信号システム	ETCS 2（コンヤ～カラマン間においては ETCS 1）

出典:調査団作成

4.3 実証実験計画

4.3.1 設置箇所選定の結果

まずは TCDD 現地事務所のメンテナンスチームと共に対象区間を巡視し、リスクが高いかつ、モニタリングの効果が高いと思われる候補箇所を洗い出した。次に、これらについて、日本国内での分析・検討、並行して現場での詳細調査・通信テストを行った。その結果について、以下の通り一表にまとめた。

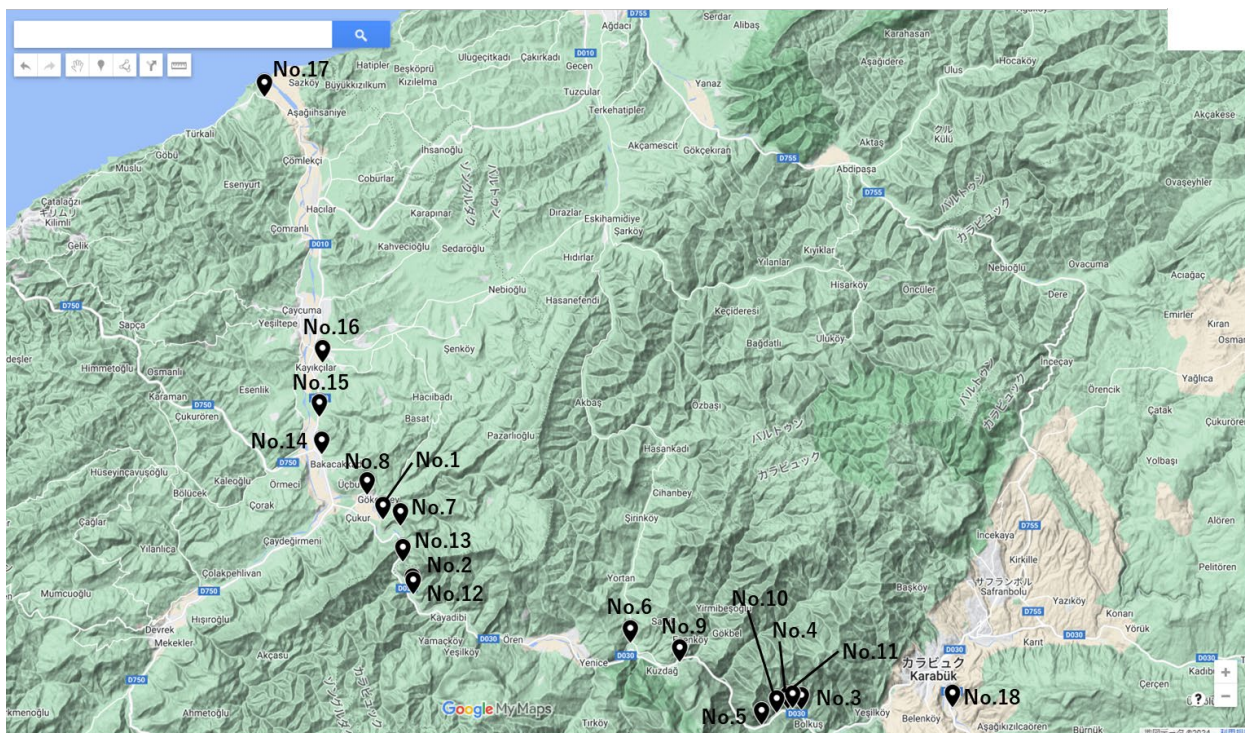
表 4-3 調査実施箇所一覧表

No.	対象構造物	災害種類	位置(駅間)	電波	施工性
1	切土整形斜面	斜面崩壊	Kayadibi-Gökçebey	○	○
2	カルバート(小規模)	線路冠水	Kayadibi-Gökçebey	-	○
3	落石防止フェンス(坑口)	落石	Bolkuş-Balıkısık	×	△
4	落石防止フェンス(岩壁)	落石	Bolkuş-Balıkısık	×	△
5	岩壁①	落石	Bolkuş-Balıkısık	×	○
6	岩壁②	落石	Bolkuş-Balıkısık	×→○※	○
7	PC 橋	洗堀	Kölemen- Yeşilyenice	△	○
8	盛土斜面	路盤崩壊	Kayadibi-Gökçebey	-	-
9	切土斜面(整形・石積)	斜面崩壊	Gökçebey-Üçburgu	○	○
10	RC 橋	洗堀	Pirinçlik-Bolkuş	-	-
11	落石防止フェンス(岩壁)	落石	Bolkuş-Balıkısık	×	○
12	カルバート(涸れ川)	線路冠水	Kayadibi-Gökçebey	-	-
13	埋没伏び	路盤流失	Kayadibi-Gökçebey	×	△
14	カルバート(用水路)	路盤流失	Kayadibi-Gökçebey	△	△
15	カルバート(中規模)	線路冠水	Üçburgu- Bakacakkadı	○	○
16	盛土(くぼみ)	線路冠水	Bakacakkadı-Kayıkçılar	△	○
17	カルバート(大規模)	線路冠水	Bakacakkadı-Kayıkçılar	△	○
18	伏び	線路冠水	Derecikören-Gökçeler	×	○
19	切土斜面	斜面崩壊	Karabük-Aşağı Kızılcaören	○	○
20	切土斜面	地割れ	Polatlı-Selçuklu	×	△
21	素地①	シンクホール	Polatlı-Selçuklu	○	○
22	盛土	シンクホール	Polatlı-Selçuklu	○	○
23	素地②	シンクホール	Kayacık-Meydan	○	○
24	素地③	シンクホール	Kaşınhan-Çumra	○	○
25	素地④	シンクホール	Çumra-Karaman	△	○

※TCDD の働きかけにより電波改善

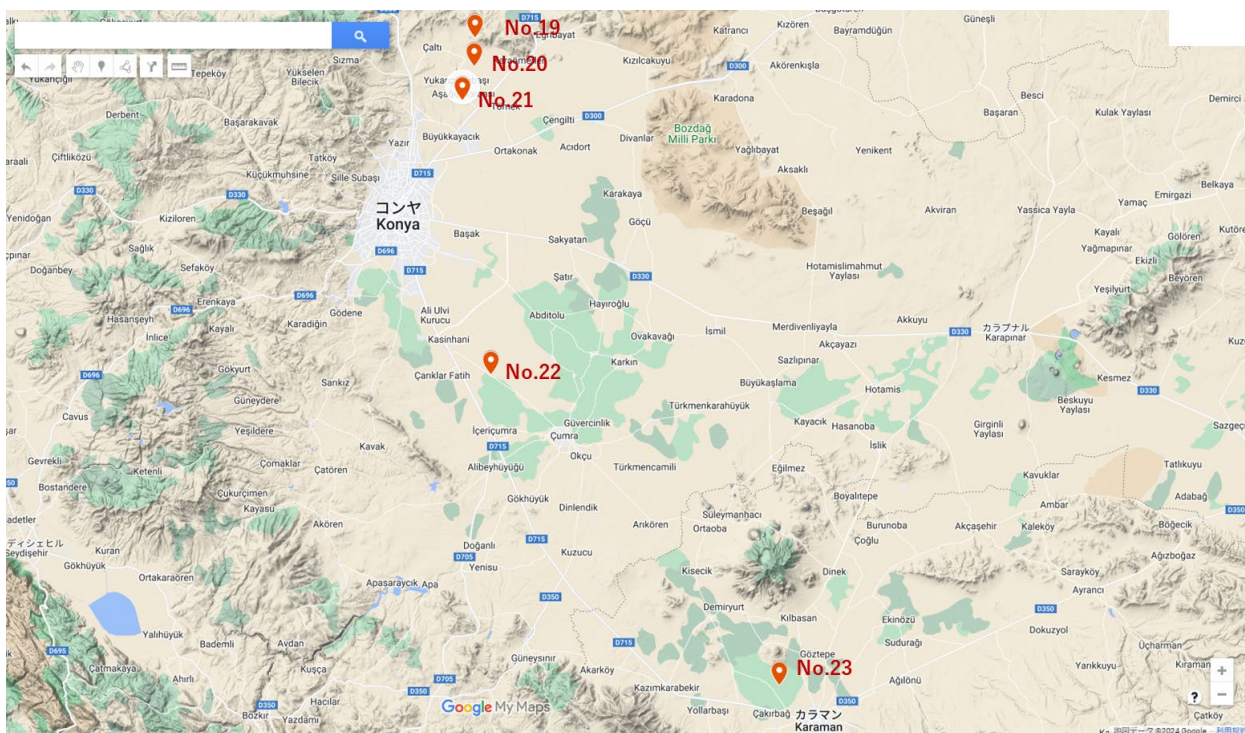
出典:調査団

以上より、実証実験箇所は No.9 切土斜面、No.15 カルバートを選定した。なお、追加箇所については引き続き選定中である。



出典: Google マップに調査団が加筆

図 4-5 調査実施箇所位置図（カラビュック～フィリヨス間）



出典: Google マップに調査団が加筆

図 4-6 調査実施箇所位置図（アンカラ～カラムン間）

4.3.2 設置箇所の詳細

(1) No.6 岩壁

対象箇所は 2024 年 11 月に落石を起こし、対策とし当該箇所を通過する列車全てに一時停止及び徐行運転の規制を実施している。岩壁自体は依然として不安定な状態で落石発生リスクが高く、効果的な対策を講じる必要がある。現状では検査員による定期的な巡回のみであり、モニタリング機器を用いた常時監視等による安全の確保が求められる。

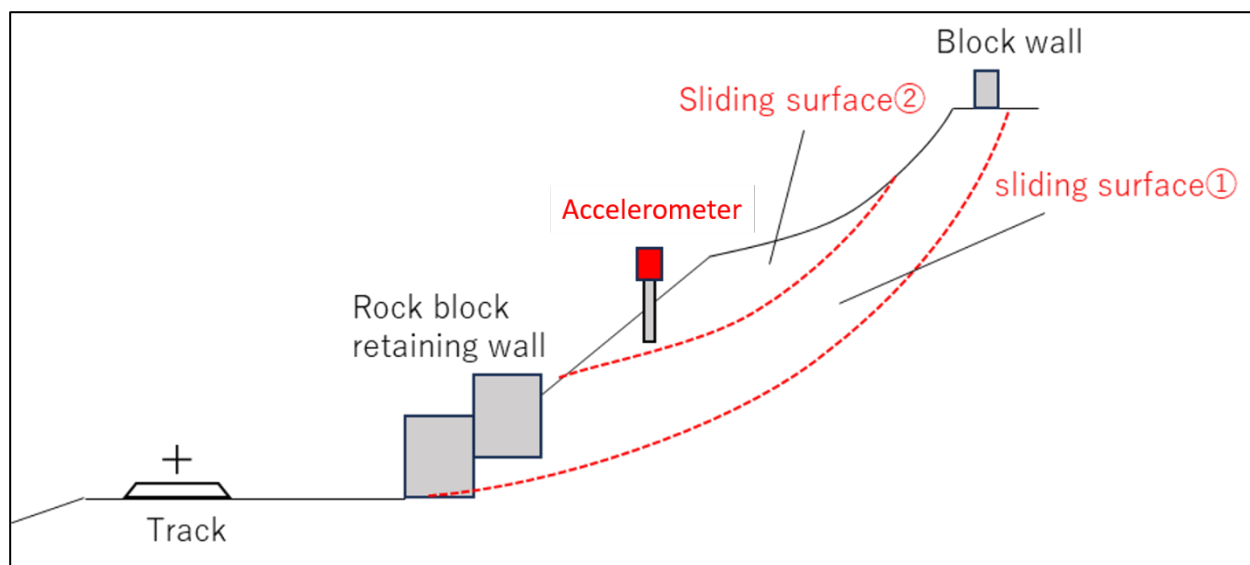


出典：調査団撮影

図 4-7 対象の岩壁

(2) No.9 切土斜面

対象箇所は 2020 年に土砂崩壊を起こし、対策としてのり面整形及び石積み土留めが施されているが十分な対策ではなく、依然として斜面崩壊の危険性が高く、斜面監視が必要である。現状では検査員による定期的な巡回のみであり、モニタリング機器を用いた常時監視等による安全の確保が求められる。



出典:調査団

図 4-8 すべり面の想定

(3) No.15 カルバート

対象箇所は 2022 年の豪雨により線路沿いに流れる河川が氾濫し、大規模な冠水が発生した。これにより終日列車が運休する影響はあったものの、周辺住民による通報があり大事には至らなかった。現在は住民による通報に依存しており、具体的な対策が立てられておらず、夜間に発生した場合観測する方法がないため、モニタリングが必要である。列車が冠水箇所に侵入した場合、脱線転覆や車両故障の恐れがある。



出典: Google マップに調査団が加筆

図 4-9 冠水範囲の想定

(4) No.21～No.26 シンクホール

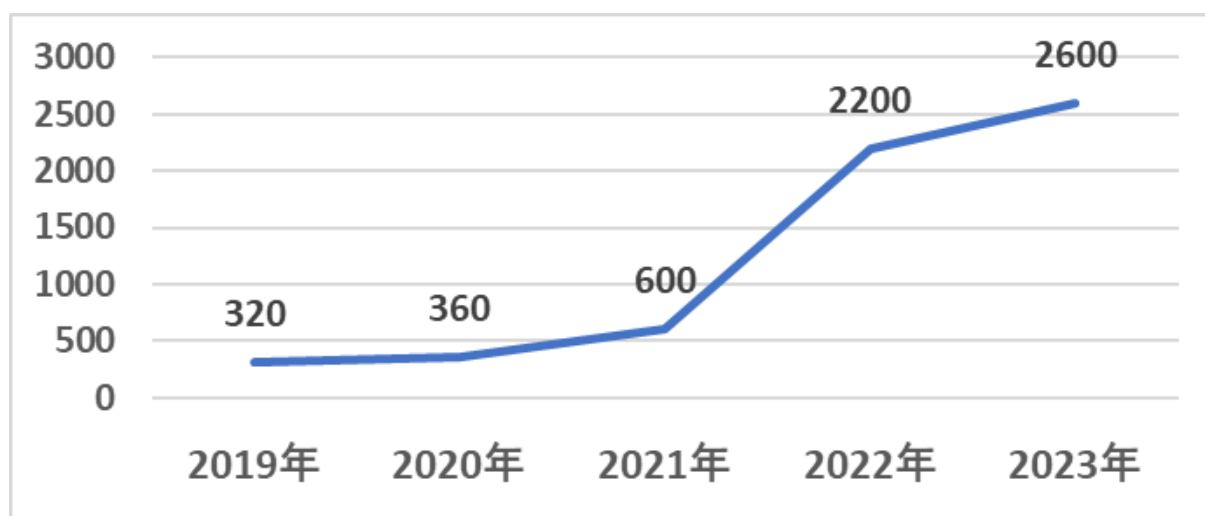
トルコのコンヤ地区ではシンクホールが急増しており、高速鉄道路線を有する TCDD はそのリスクへの対応を迫られている。原因は主に長期的な干ばつによる地下水の過剰使用に起因するとされており、発生前にひび割れ等の予兆があるとの分析がある。

原理としては、地表より下の水溶性の岩（石灰石、炭酸岩、塩岩など）が水に溶けることで空隙ができ、シンクホール発生につながる。発生したシンクホールは、幅 1～2m、深さ 3m 未満の小規模なものから幅 100m 超、深さ 60m を超えるものまでさまざまな規模が観測されている。



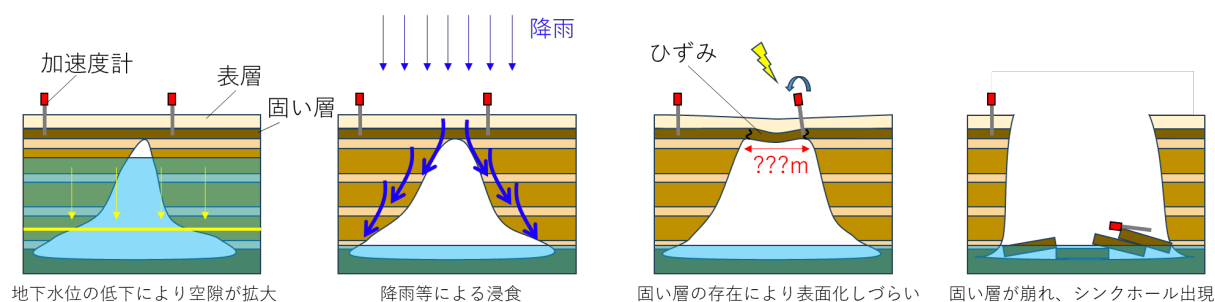
出典:Yasin AKGUL / AFP

図 4-10 コンヤ地区で発生したシンクホール



出典:調査団作成

図 4-11 コンヤ地区で確認されたシンクホールの数の推移



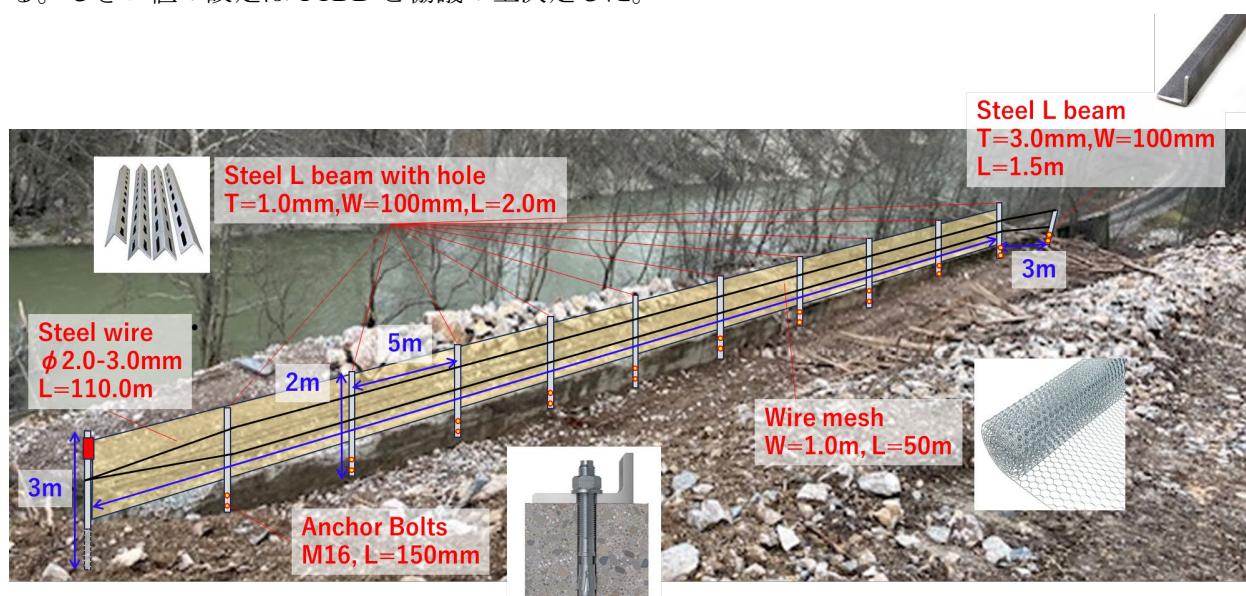
出典:調査団作成

図 4-12 シンクホール発生メカニズムと検知の仕組み

4.3.3 設置計画図

(1) No.6 岩壁

モニタリングは、簡易的に設置した落石検知のためのフェンスの端の柱に加速度計を設置することにより検知を可能にした。また、岩壁下の斜面の中腹に置いて、その動向を観測する意図で加速度計を付したポールを設置した。加速度計が事前にセットしたしきい値を超えた場合に警告を発する。しきい値の設定は TCDD と協議の上決定した。



出典:調査団

図 4-13 落石検知網設置計画図

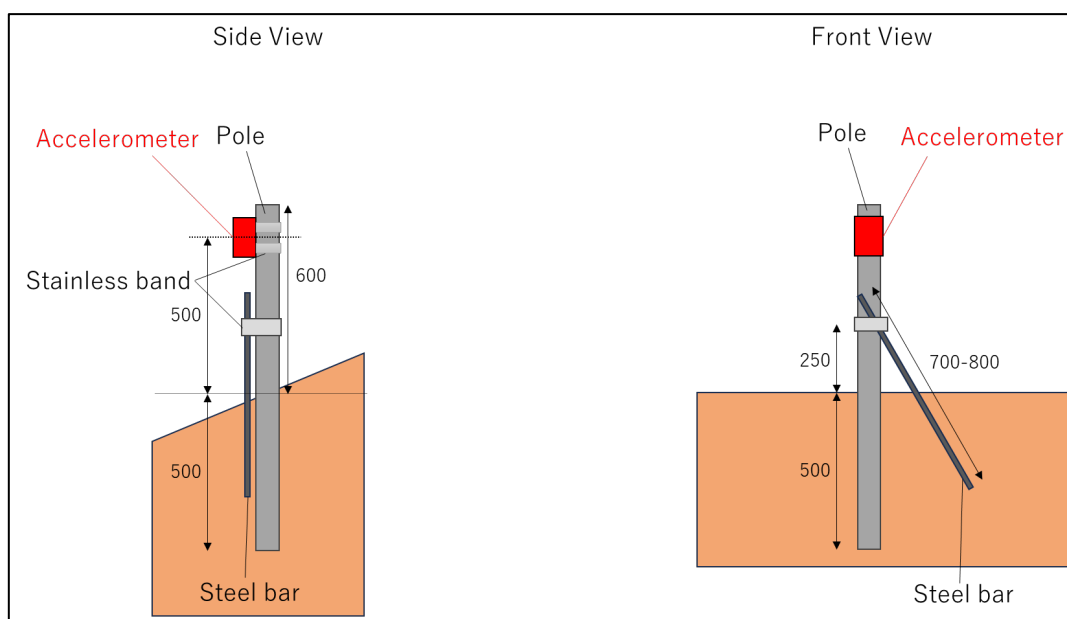
(2) No.9 切土斜面

モニタリングは、移動体の表層に傾斜計を設置することで行われる。また移動体の西側（図 4-14 左側）でも線路に近い位置で小規模な斜面崩壊が発生しており、潜在的な移動体の表層にも設置を計画している。移動体の動きによる傾斜角の変化を検出し、しきい値を超えた場合に警告を発する。警告の発報と同時に、カメラが高頻度で撮影を開始して、運行管理箇所が運行の可否を判断する。しきい値の設定は TCDD と協議の上決定する。



出典:調査団

図 4-14 切土斜面のモニタリング計画図

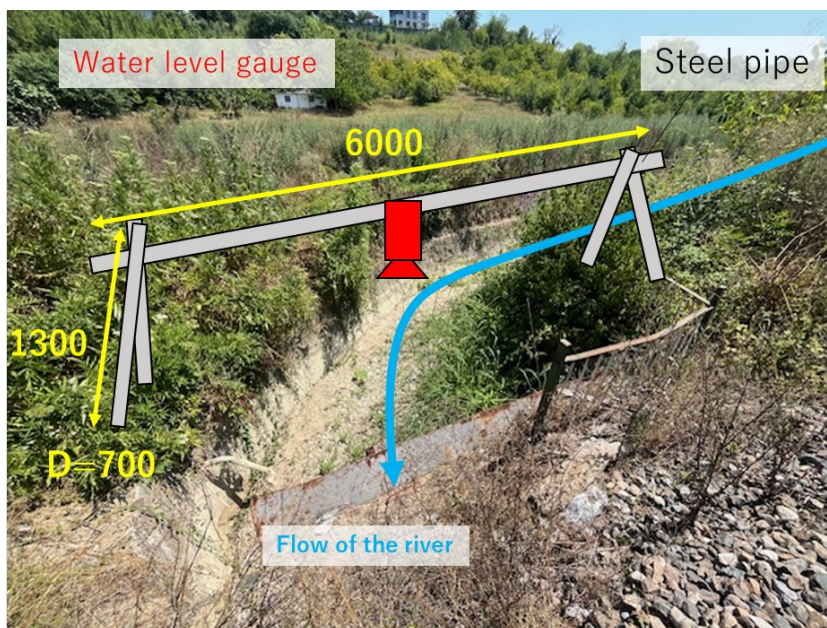


出典:調査団

図 4-15 傾斜計設置計画図

(3) No.15 カルバート

カルバートの上流方に水位計を設置してモニタリングを行う。水位の変化を検出し、しきい値を超えた場合に警告を発する。警告の発報と同時に、カメラが高頻度で撮影を開始して、運行管理箇所が運行の可否を判断する。しきい値の設定は TCDD と協議の上決定する。

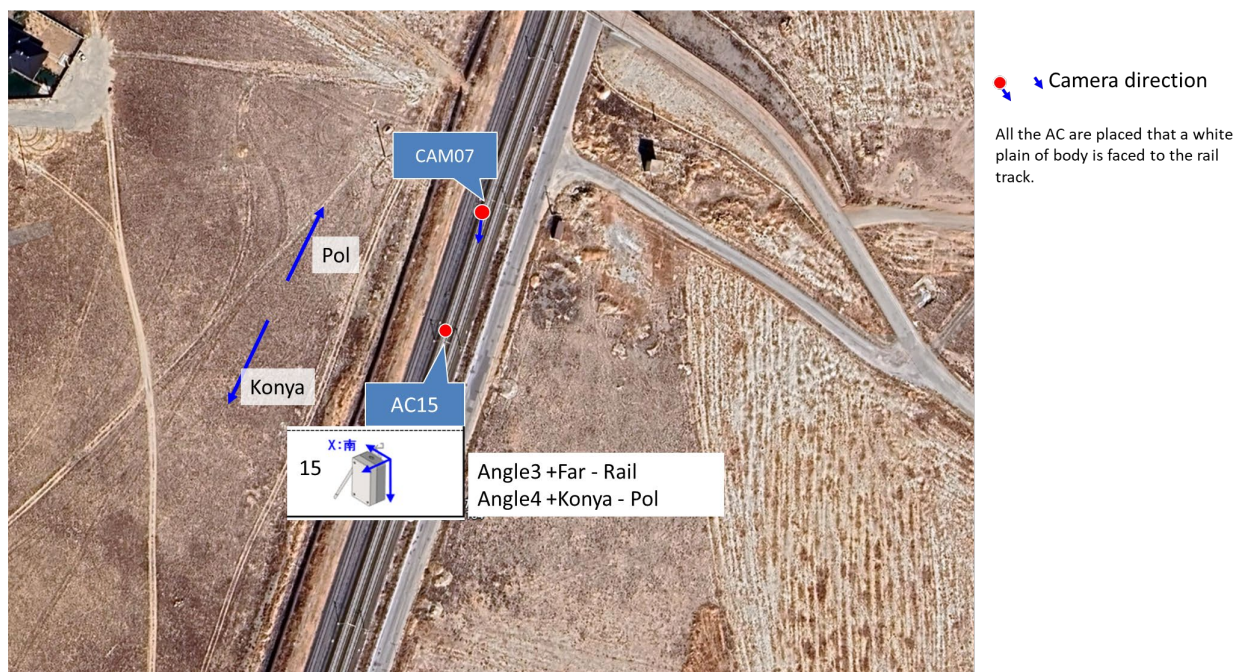


出典:調査団

図 4-16 水位計設置計画図

(4) No.21 素地①（シンクホール）

TCDD により実施されている調査（非公開）でシンクホール発生リスクが高いとされたエリアの線路沿線に加速度計を付したポールを建植し、地表面の動向をモニタリングする計画とした。加速度計が事前にセットしたしきい値を超えた場合に警告を発する。しきい値の設定は TCDD と協議の上決定した。（以下(5)～(8)も同様）



出典:調査団

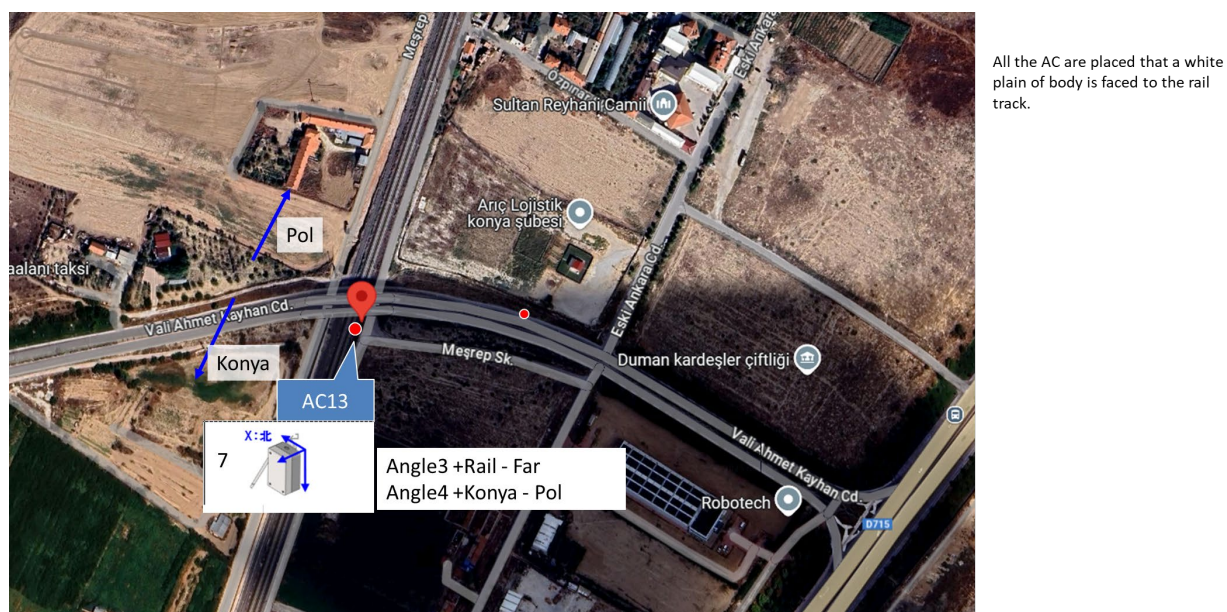
図 4-17 加速度計設置計画図（No.21）



出典:調査団

図 4-18 加速度計設置計画図 (No.21-2)

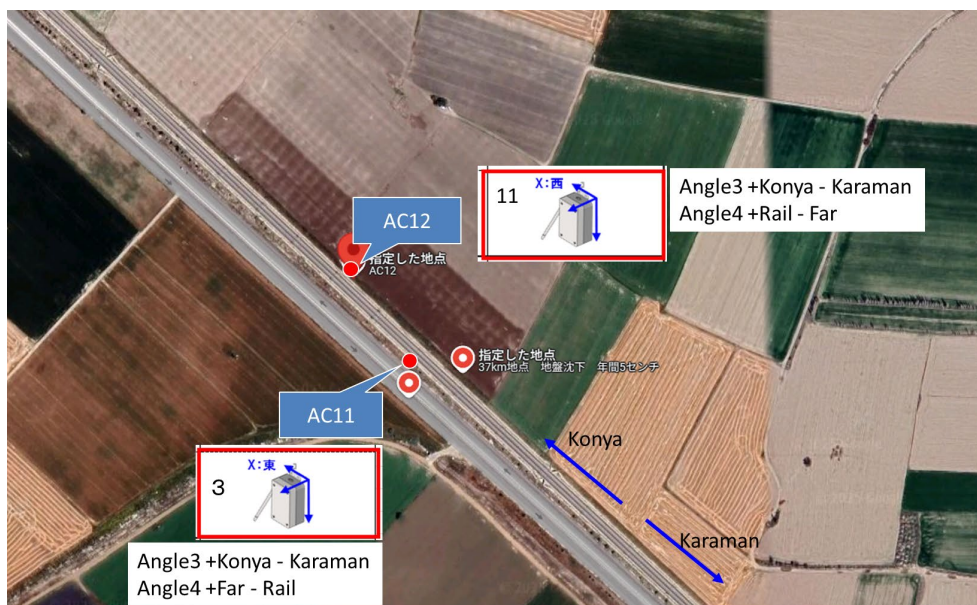
(5) No.22 盛土 (シンクホール)



出典:調査団

図 4-19 加速度計設置計画図 (No.22)

(6) No.23 素地②（シンクホール）

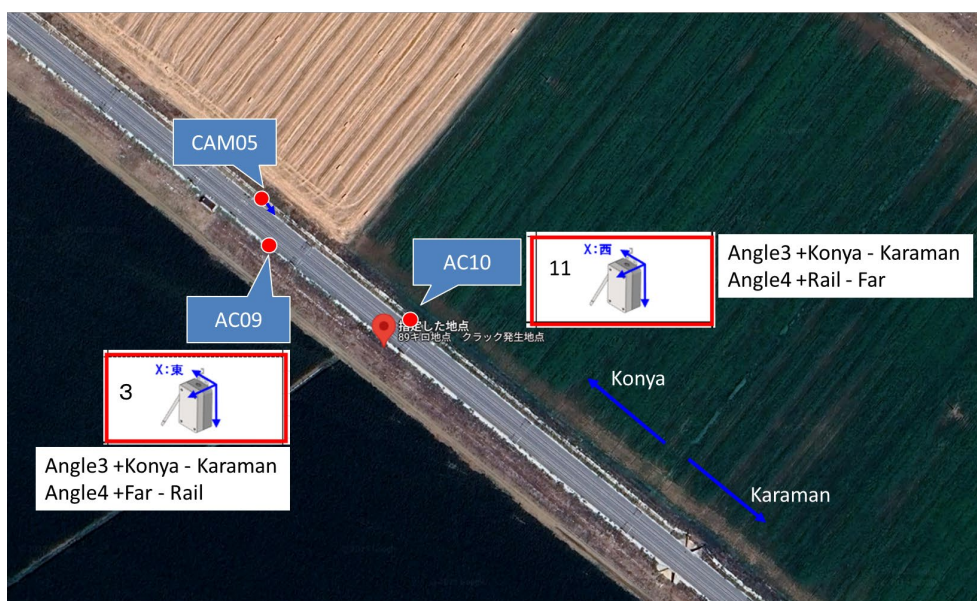


All the AC are placed that a white plain of body is faced to the rail track.

出典:調査団

図 4-20 加速度計設置計画図 (No.23)

(7) No.24 素地③（シンクホール）

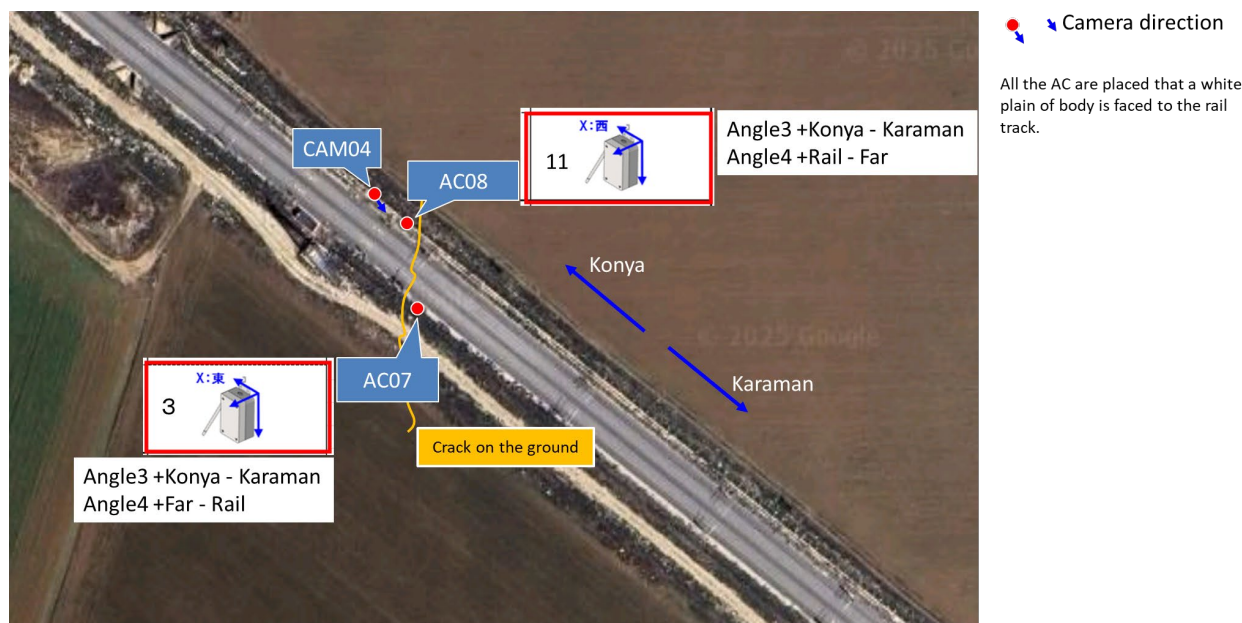


All the AC are placed that a white plain of body is faced to the rail track.

出典:調査団

図 4-21 加速度計設置計画図 (No.24)

(8) No.25 素地④（シンクホール）



出典:調査団

図 4-22 加速度計設置計画図（No.25）

4.4 鉄道防災システムを整備するにあたってのトルコ国内の規制

トルコ国においては、EU 加盟国と同等の法令、規制への対応が求められ、機器はこれらに準拠する必要がある。例として、無線利用に関する規制、RoHS、REACH 等の含有禁止物質の規制などがあり、規制に対応した設計と試験の実施により、CE マーキングを宣言し、CE マークを付与する必要がある。下表（表 4-4）に規制類の一覧を示す。

なお、実証実験においては、個別機器の現地輸入とせずカメラや加速度計を含む観測システムとして輸出を行うことで、CE マーキングの一部免除が可能であることが、TCDD との協議で確認された。TCDD は既に同様の方法で、他国から機器を試験導入したことがあるとのことであった。

表 4-4 防災システム整備に関連する CE マーキング規制類

略称等	関連法令	EU Ref
RED	無線機器指令 (Radio Equipment Directive)	2014/53/EU
Batteries Regs (Turkish WBAC)	バッテリー規則 (Regulation on batteries and waste batteries)	(EU) 2023/1542
POPs	残留性有機汚染物質に関する規則 (Persistent Organic Pollutants Regulation)	(EU) 2019/1021
REACH	化学物質管理における法規制 (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals Regulation)	(EC)1907/2006
RoHS	特定有害物質使用制限指令 (Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment Directive)	2011/65/EU

略称等	関連法令	EU Ref
PIC	有害化学物質の輸出入規則 (Prior Informed Consent Regulation)	(EU)649/2012
WEEE	廃電気・電子機器指令 (Waste Electrical and Electronic Equipment Directive)	2012/19/EU
Packaging Regs (Turkish WPM)	包装廃棄物指令 (The Packaging and Packaging Waste Directive)	94/62/EC

出典:調査団作成

その他、トルコの国内法においては、上記の法令を含め TCDD および公的機関が輸入してはいけない品目が定められており、本調査において実証実験機材がそれらのネガティブリストに含まれないことを確認できた。

4.5 実証実験期間の状況

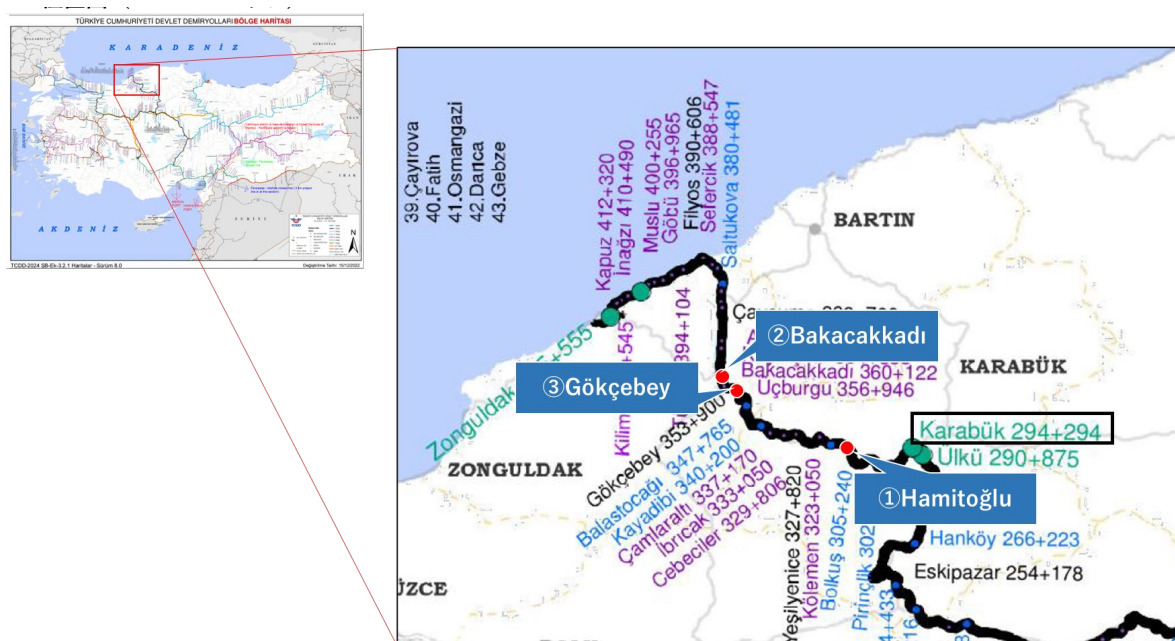
2025 年 1 月及び 2 月にかけて設置作業を行った。設置は TCDD により現地作業員及び資機材の手配が行われ、調査団員は位置や設置方法の微調整、機器固定後のソフトセットアップを行った。作業は概ね予定通りに行われ、下記に示す表及び写真の通り設置が完了した。なお、設置中に生じた課題については後述する。

表 4-5 機器設置箇所一覧

エリア	箇所	加速度計	高感度カメラ	水位計
Karabük (1st バッチ)	No.6 落石 Hamitoğlu	2 台※	1 台※	－
	No.9 切取り斜面崩壊 Gökçebey	3 台	1 台	－
	No.15 線路冠水 Bakacakkadı	－	1 台	1 台
Konya (2nd バッチ)	No.21 地盤沈下(シンクホール) Pol-Kon 間 184km 付近	1 台	1 台	
	No.22 地盤沈下(シンクホール) Pol-Kon 間 195km 付近	2 台	1 台	
	No.23 地盤沈下(シンクホール) Kon-Ka 間 37km 付近	2 台	－	
	No.24 地割れ(シンクホール) Kon-Ka 間 89km 付近	2 台	1 台	
	No.25 地割れ(シンクホール) Kon-Ka 間 94km 付近	2 台	1 台	
合計		14 台	7 台	1 台

※: 予備機を含む

出典:調査団



出典：調査団

図 4-23 カラビュックエリアの機器設置位置図

①落石 Hamitoğlu



2024年12月発生



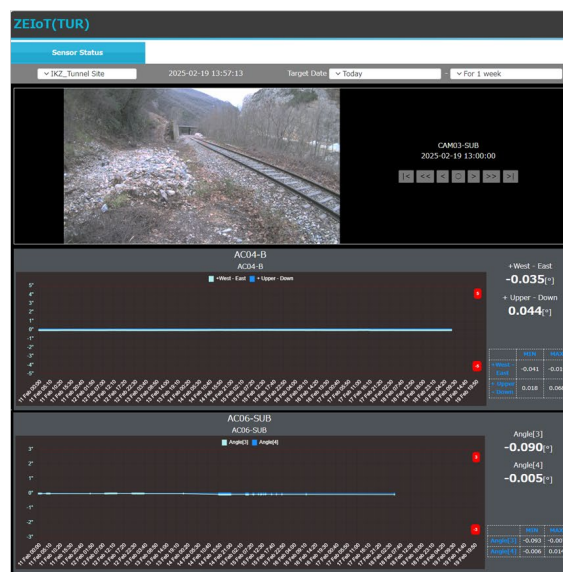
斜面の様子



2024年12月発生



設置した落石検知網



モニタリング画面

出典：調査団

図 4-24 No.6 岩壁②設置状況

②切取り斜面崩壊 Gökçebey



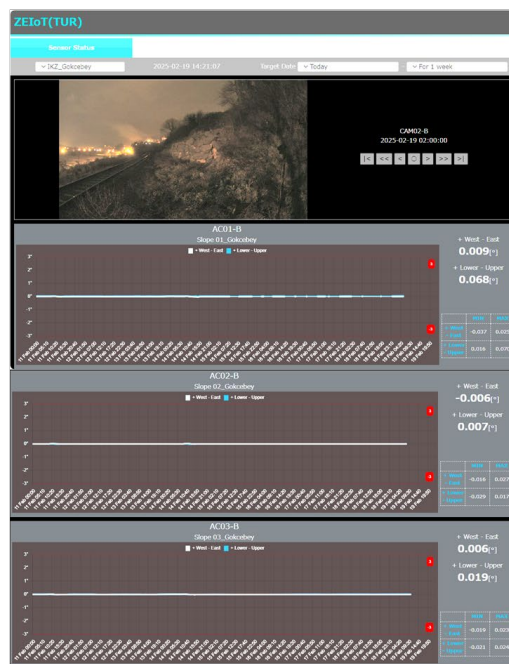
機器設置位置



傾斜計



カメラ



モニタリング画面

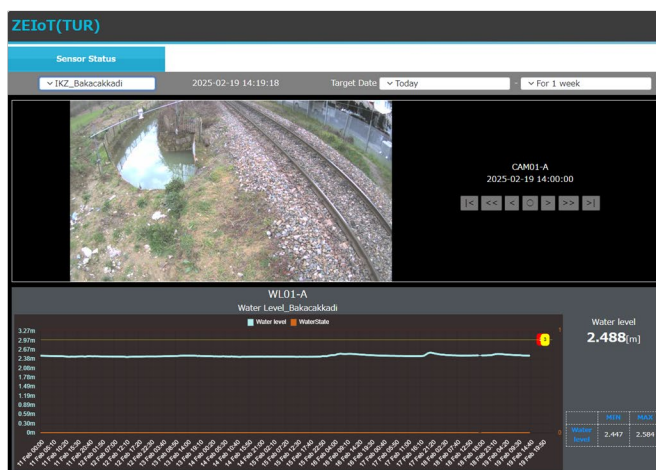
出典:調査団

図 4-25 No.9 切土斜面（整形・石積）設置状況

③線路冠水 Bakacakadı

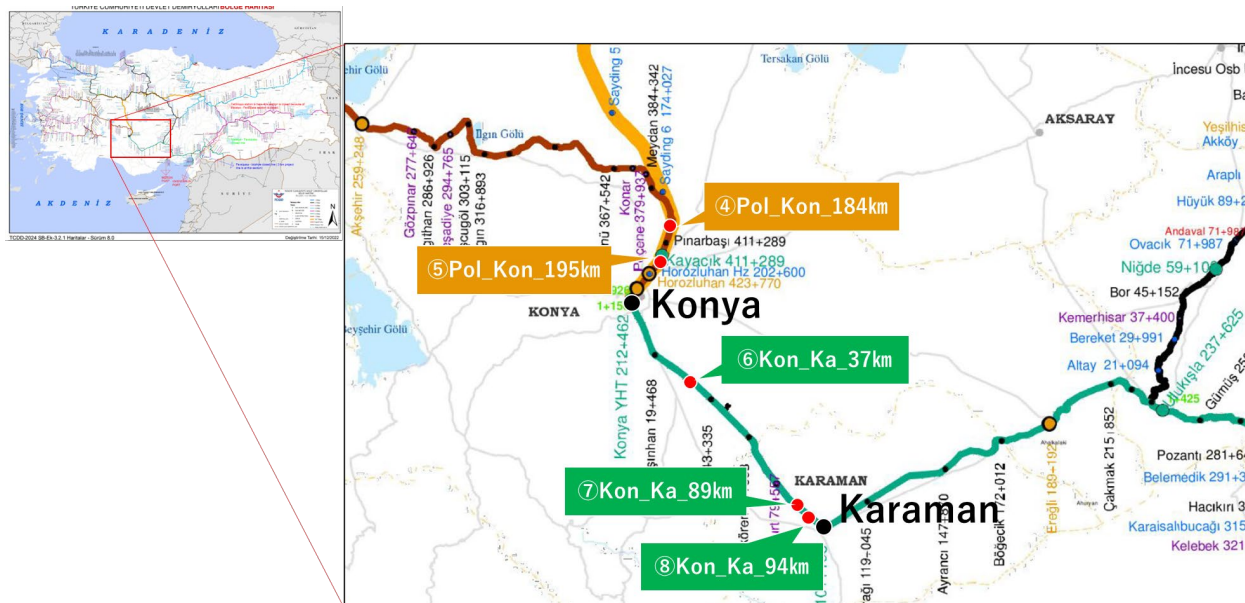


出典:調査団



モニタリング画面

図 4-26 No.15 カルバート（中規模）設置状況



出典:調査団

図 4-27 コンヤエリアの機器設置位置図

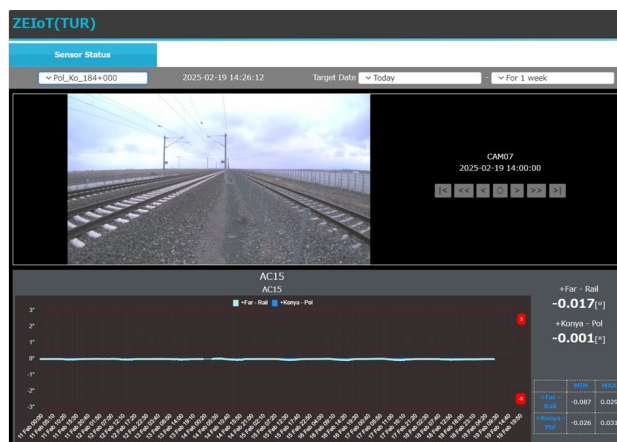
④地盤沈下 Pol-Kon間184km付近



機器設置位置



傾斜計

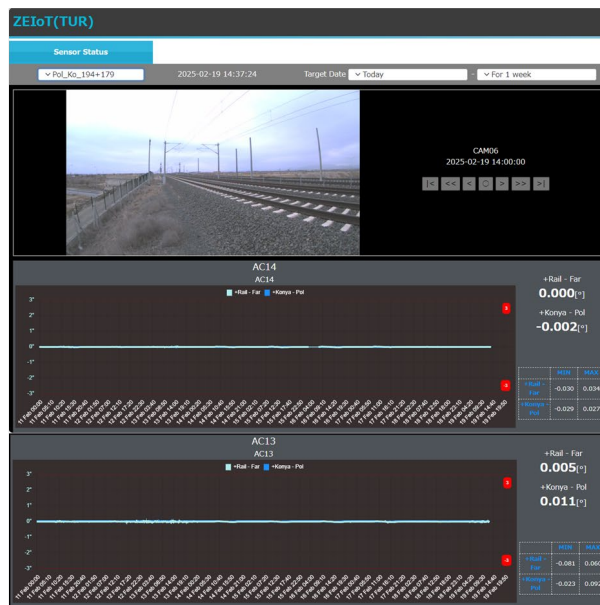


モニタリング画面

出典:調査団

図 4-28 No.21 素地①（シンクホール）設置状況

⑤地盤沈下 Pol-Kon間195km付近

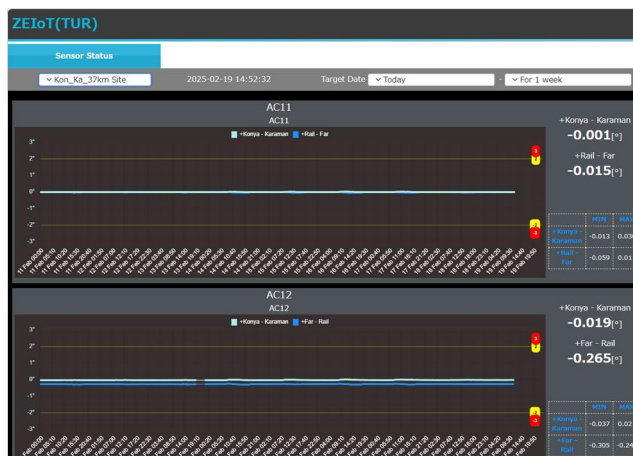


モニタリング画面

出典:調査団

図 4-29 No.22 盛土（シンクホール）設置状況

⑥地盤沈下 Kon-Ka間37km付近

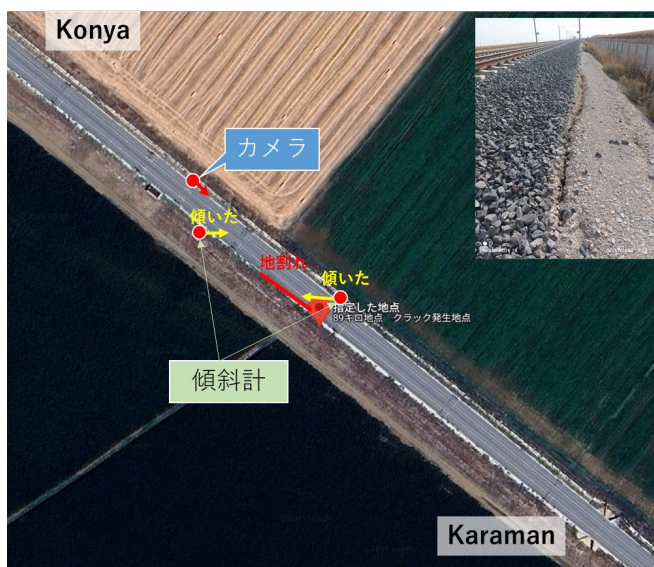


モニタリング画面

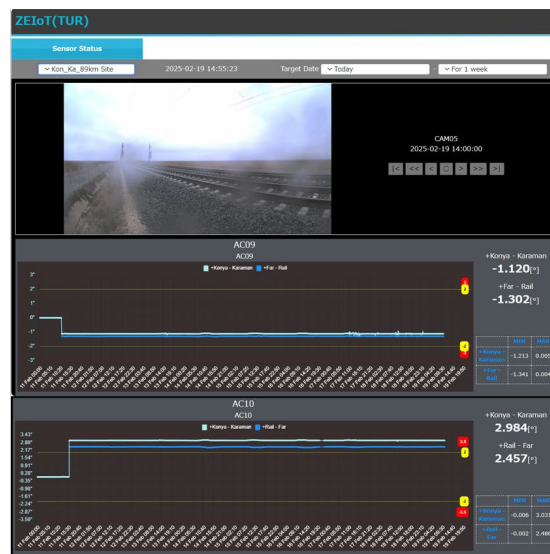
出典:調査団

図 4-30 No.23 素地②（シンクホール）設置状況

⑦地割れ Kon-Ka間89km付近



機器設置位置



モニタリング画面

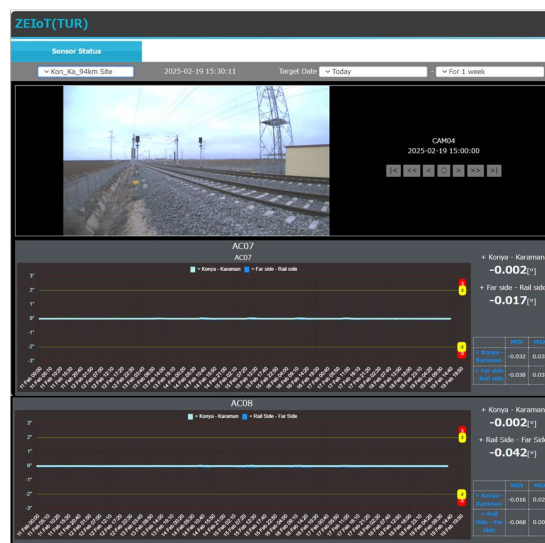
出典:調査団

図 4-31 No.24 素地③（シンクホール）設置状況

⑧地割れ Kon-Ka間94km付近



機器設置位置



モニタリング画面

出典:調査団

図 4-32 No.25 素地④（シンクホール）設置状況

4.5.1 動作状況

機器の設置位置により周辺環境や電波状況が異なり、それが機器のデータ送信頻度や電圧低下に大きく影響を及ぼしている。本実証実験において使用する機器の内、加速度計はバッテリー駆動式であり、特に電圧低下の影響が大きい。

バッテリーの電圧低下が発生している機器については実証実験期間中にバッテリーの交換による復旧を計画している。各機器におけるバッテリーの動作状況を下記一覧表の通りまとめた。

表 4-6 機器状態一覧

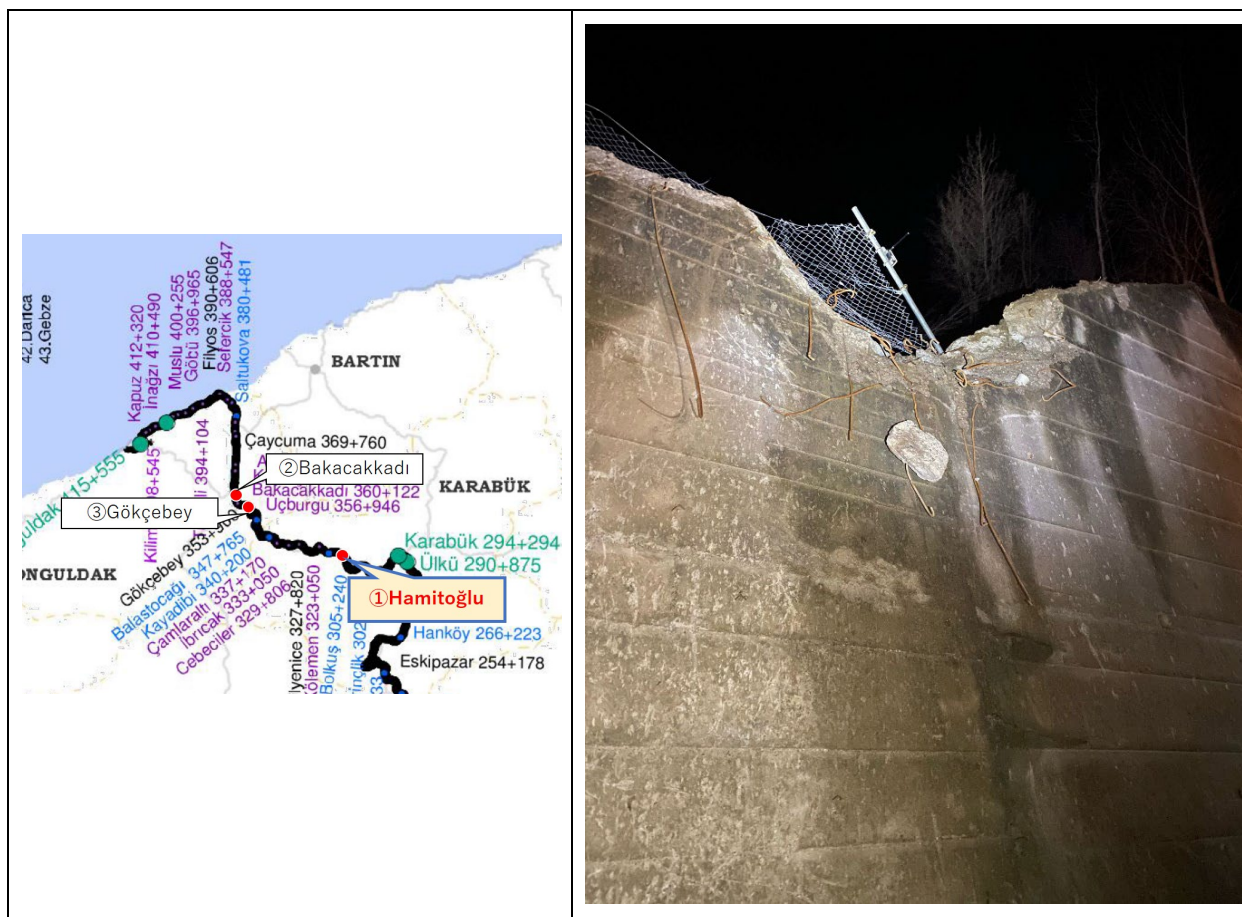
Site	Device	Battery Status
Bakacakadi	CAM01-A	Working
	WL01-A	Working
Gokcebey	CAM02-B	Working
	AC01-B	Stopped by low battery
	AC02-B	Working
	AC03-B	Working
Tunnel Site	CAM03-SUB	Working
	AC04-B	Working
	AC06-SUB	Stopped by low battery
Kon_Ka_94km	CAM04	Working
	AC07	Working but low battery
	AC08	Working
Kon_Ka_89km	CAM05	Working
	AC09	Stopped by low battery
	AC10	Stopped by low battery
Kon_Ka_37km	AC11	Working
	AC12	Stopped by low battery
Pol_Ko_194+179	CAM06	Working
	AC14	Stopped by low battery
Pol_Ko_195+559	AC13	Stopped by low battery
Pol_Ko_184+000	CAM07	Working
	AC15	Stopped by low battery

出典:調査団

4.5.2 実証実験中において発生した事象とその対応

3月3日 23:40（現地時間）、No.6 の落石検知に設置した加速度計から、線路と平行に 22 度、線路外方に 6 度の傾きを検知した。調査団からも情報を TCDD に共有すると共に、クラウド上の画像を用いて、画角上では変状が確認できないことも確認した。

- 場所：カラビュック Hamitoğlu 地区（下図 1 参照、赤字が当該箇所）
- 列車影響：なし

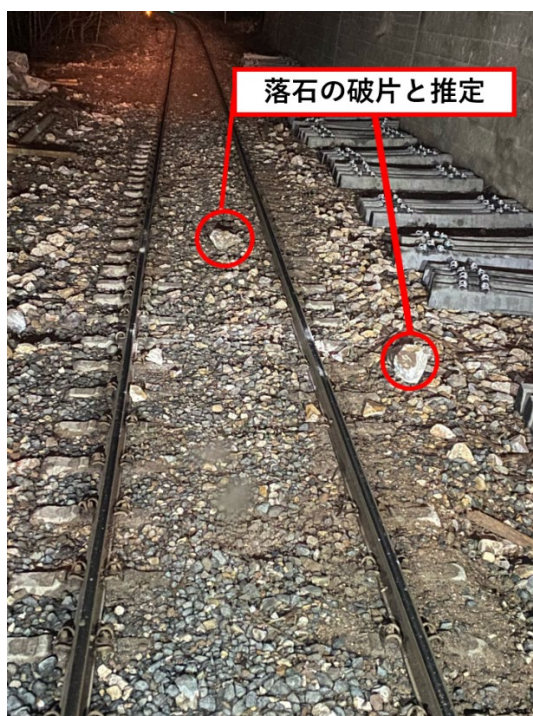


出典: TCDD

図 4-33 現地地図（左）と加速度計設置ポールの状態（右）

調査団の対応：

- TCDD 側に現地確認を依頼、線路、加速度計等の状態を把握してもらうこととした。
- 軌道内の一部に落石を認めたものの、運行には支障がないことが現地にて確認された（図：軌道内の状態）。
- 調査団がフェンス設置時に撮影した画像データを用いて、最新の状況と比較したところ、大きな石が擁壁部分に残っていることが確認された。このため、比較的大きな石が斜面から落下し、ポールまたはフェンスに衝突、その破片が軌道内に落下したと推定された。（図：設置時点と事象発生後の差異）
- 加速度計本体への被害は確認できなかったため、継続使用が可能と推定された。



出典: TCDD

図 4-34 軌道内の状態



出典: TCDD および調査団資料

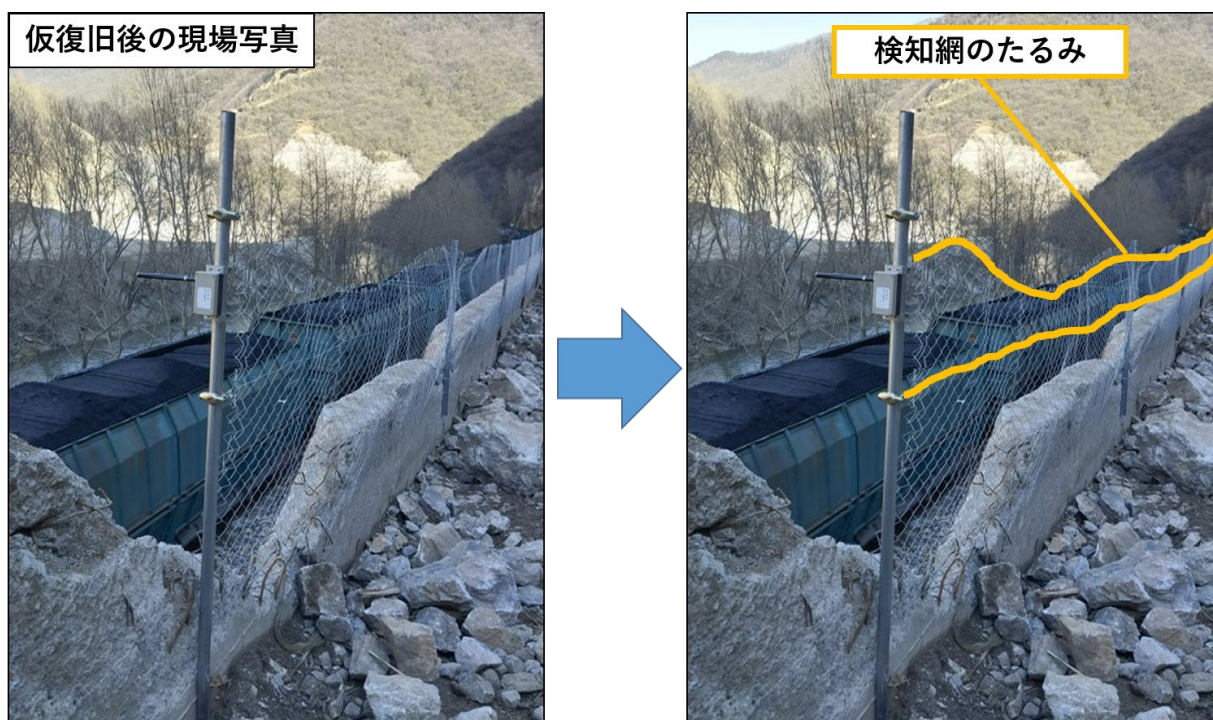
図 4-35 設置時点（左：調査団提供）と事象発生後（右：TCDD 提供）の差異

Lessons learned と今後の動き：

- 日本側で配信に利用していたメールサーバーが、アマゾンのサービスを用いていたことから、TCDD に一部の警報メールが遮断されてしまっていた。このため、TCDD の IT チームにも対応を依頼、メールが配信されるようにした。
- 現地のメンテナンス事務所に直接連絡が入るよう、Google のメールグループを活用し、メンテナンス社員に直接警報が届くように、再設定を行った。
- 曲がったポールについては、TCDD が復旧し再設置することとした。ポール復旧完了後、加速度計の再設定の必要については確認する。
- 加速度計は破損が確認されていないため、現時点では当該機を継続使用するが、再設定や予備機の設置は日本側の支援が必要であり、今後の展開時には課題となる可能性がある。

復旧状況と調査団の対応：

- 事故後 3/4 に TCDD と調査団で協議し、可動端ポールおよび落石検知網の修繕を TCDD に依頼した。
- 復旧状況を写真（3/6、TCDD 提供）によって確認した（図：仮復旧時の状況）ところ、落石検知網のワイヤの張り具合等が適切でないことが確認できた。
- このため、専門家から「復旧工事の施工の注意点」と「可動端ポール」および「ワイヤの状態」に関する確認資料を送付し、下記を説明した。（下図）
 - 落石検知網（ワイヤ）は一定のテンションを保って設置される必要がある事。
 - 加速度計の設置されているポールは検知網の支持物であり、且つ加速度計が傾き検知する可動端であることから、検知網がポールを引っ張る形で倒れる必要があること。



出典：TCDD 資料に調査団が加筆

図 4-36 仮復旧時の状況（TCDD 提供に調査団が加筆）

4.5.3 実証実験から見えてきた課題

(1) しきい値設定のための明確な基準の欠如

センサー機器の測定値が事前にセットしたしきい値を上回る、または下回る場合に、モニタリングサイトからアラート（警報メール）が発出されるが、そのしきい値をどのように設定することが適切か、明確な基準が定められていない。今後測定データを蓄積していき、技術的見地からの分析を踏まえたしきい値の設定基準が作成されることが望ましい。

(2) アラートの方法

モニタリングサイトからアラートを発出する場合、今回は e-mail システムを利用した警報メールで通知する仕組みとしたが、e-mail より携帯電話の SMS 機能によるアラートの方が迅速にインフラ管理者による把握が可能であるとの意見があげられた。今後、SMS 機能や他の通信手段でのアラート発出の導入可能性を検討する。

(3) 異常検知時の初動体制及びマニュアル整備の不足

今回の事象では、異常を検知してから、現場へ到着、状態把握まで約 5 時間かかった。実際に運用される際は昼間の高頻度で列車が運行している最中でも、短時間で運転再開に向けた現場確認もしくは復旧を行う必要がある。今後は異常検知から運行再開もしくは復旧工事までの手順とそれを可能にする体制を記載したマニュアルを整備することが望ましい。

(4) 検知装置復旧時の施工品質不良

現場で施工する監督者が検知装置の仕組みをよく理解しておらず、検知機器復旧時に不適切な施工が行われたため、その後に誤検知が発生した。運用時には、現場監督者への検知装置の仕組みや機器復旧時の細かな注意点の教育を徹底して行う必要がある。

第5章 トルコの防災法規、基準の現状および課題と今後の展望

本章では、トルコの防災法規・基準の現状を調査した。そして、鉄道の災害対策および復旧支援について日本と比較し、課題と今後の展望についてまとめた。

5.1 防災関連法制度現状（トルコの国レベル）

5.1.1 トルコにおける防災関連法制度

トルコにおける防災関連の法制度について、表 5-1 に整理した。

表 5-1 トルコの防災関連の法制度

番号	法律名称	策定年	概要
7126	市民防衛法 Civil Defence Law	1958	本法律は戦争や災害等からの市民防衛について定める法律である。市民防衛は敵の攻撃、自然災害、大規模な火災から人々の生命と財産を保護することを目的とし、人命の損失を最小限に抑え重要な公共施設・民間施設を保護する。
7269	公共生活上の災害による措置の補助について（請求権） Aids to be Made with Measures to be Taken Due to Disasters Affecting Public Life (Claim Rights)	1959	本法律は、自然災害が発生した際に、所有者は自然災害で失った財産を国に請求する権利を有することを定める。被災者がホットライン「Alo 125」、電子政府システムまたは自然災害保険制度（DASK）の公式ウェブサイトを通じて損害を報告できるとの内容が記載されている。2023 年 1 月 1 日現在、全ての建物に対する DASK の強制地震保険の最大補償額は 640,000TL（33,910 ドル）である。DASK の発表によれば、保険は完全損害と部分損害の両方をカバーし、建物の解体は不要である。補償額は請求申請と書類が完了し、最終的に確定した後に支払われる。
2935	非常事態法 State of Emergency Law	1983	政府による特別措置の実施に係る法的根拠を定める法律であり、非常事態時における政府権限の強化および市民権利の一部制限等に関する規定が盛り込まれている。適用範囲としては、基本的に戦争、暴動、テロ、内乱などの国家的危機を対象としているが、2023 年 2 月に発生した地震被害に際しても、本法律に基づき非常事態宣言が発出された事例がある。
4123	自然災害による損害および被害に関するサービスの提供 The Provision of Services Related to Damages and Damages Resulting from Natural Disasters	1995	被災地域で正常な生活の継続を確保するために法令 2380 号に基づいて設立された資金により実施される支援に関する手続きと原則を規制する。
5216	大都市圏自治体法 Metropolitan Municipality Law	2004	大首都圏自治体の行政の法的地位を規制し、大都市圏自治体によって効果的で効率的かつ調和的な方法で行政サービスが実施されることを目的として制定された。大都市圏自治体の責務を規定する。
5393	自治体法 Municipality Law	2005	自治体の設立、機関、経営、職務、権限、責任、業務手続き、原則を規制する。

番号	法律名称	策定年	概要
5902	災害・緊急事態管理大統領府の設置と任務 Establishment and duties of the Disaster and Emergency Management Presidency (Authority)	2009	本法律は、災害・緊急事態に対する効果的な対応とガバナンスを目的として、AFAD を大統領府の下に設立することを規定する。この法律では、AFAD の職務、責任、および権限の規則と手続きを定める。
6306	都市改造法 Restructuring of areas under risk of natural disasters	2012	環境および都市化省は「危険地域」と「危険構造物」の地図を公表し、建物の所有者がその建造物が「危険構造物」である場合には、政府の規定に基づいて一定の期間内に報告する必要がある。危険地域では全ての建設と再建を中止することが許され、必要に応じて政府が財産を収用する手続きが定義される。
6305	強制地震保険規定 Compulsory Earthquake Insurance Regulation	2012	震災による建物の物質的な損失を補償するための強制地震保険に関する手続きと原則を定める。保険会社が補償を提供できないあるいは補償が難しい災害およびリスクに起因する人的損害・物的損害を補償するための保険の補償を定める。
	災害および緊急対応サービスに関する規制 Regulation on Disaster and Emergency Response Services	2013	緊急事態への効果的な対応を図るため、省庁、知事府、都道府県、およびその他の政府機関や私的機関の職務と責任を規定する。また、災害地域への迅速で効率的なサービス提供に関する手続きを明記する。また、国全体・地方レベルでのリスク評価および災害対応計画の原則と手続きについても規定する。

出典：調査団

5.1.2 トルコの災害リスク管理に係る実施体制

(1) トルコ内務省災害緊急事態対策庁

トルコではトルコ内務省災害緊急事態対策庁（AFAD）が災害リスク管理を担っている。1999 年のマルマラ地震を契機として、トルコ政府は一元的な防災機関の必要性を認識し、2009 年に法 5902 号に基づき AFAD が設立された（※現在は内務省傘下となっている）。災害・危機対応にかかる国の意思決定機関として、災害・緊急事態最高評議会（大統領が議長、メンバーは運輸省を含む国務大臣等からなり、年 2 回開催され、防災分野に関する最高意思決定機関として各種計画、プログラム、報告書等を承認）の他、年 4 回の災害・緊急事態調整ボード（同様に各省庁から参加）いずれも事務局は AFAD が担う。

(2) 県の地方防災計画

県の地方防災計画（IRAP）は AFAD が作成した雛形に基づき、県災害リスク削減を目的として策定される。IRAP は JICA が 2013～2017 年に実施した「リスク評価に基づく効果的な災害リスク管理のための能力開発プロジェクト」を通じて、地震・津波を対象とした統一災害リスク評価手法や、それをベースとしてブルサ県を対象に地方減災計画作成を支援した成果がベースとなっている。

IRAP の策定推進は第 11 次国家開発計画（2019～2023 年）における防災分野の取組の指標となっ

ており、2022 年時点において全 81 州で策定済みである。州 AFAD が事務局となり、自治体、民間、学識者などの地域のステークホルダーの参画を得ながらとりまとめたものである。

なお、上記プロジェクトの事後評価結果（2021 年度実施）では IRAP で示されている施策への予算措置と各施策の実施の必要性が提言されている。

IRAP は日本の自治体の防災計画に比べると、ハザード分析に紙面が割かれており、全ての災害種が同列に扱われ、想定リスク規模に基づくプライオリティ付が不十分な印象である。また、IRAP では自治体予算の 1/1,000 を防災に配分することが記載されており、具体的な減災対策施策を自治体などのステークホルダーに割り振る形となっているものの、各ステークホルダーに対して実施にかかる法的な拘束力がなく予算確保を含めて実効性に課題がある。

(3)自治体災害管理部門の設置状況

2024 年現在、トルコ国内では約 30 の大都市自治体を中心に、「Disaster Affairs Department」の設置が推進されている。同部門は各自治体に属する組織であり、AFAD に依存せず、自治体自らが災害対応を担うことを目的としている。すなわち、災害発生時には所在自治体による独自の対応を行うことが想定されている。しかしながら、現時点では、当該部門の具体的な業務内容は明確化されておらず、組織体制の整備も十分には進んでいない状況である。また、AFAD は自治体との連携を重視しているものの、自治体向けの防災部門設置や業務運営に関するガイドライン等は、現時点では策定されていないと確認された。

さらに、AFAD と各自治体の Disaster Affairs Department との間には直接的な予算措置は存在せず、行政組織構造に変更がない限り、同部門は AFAD による技術支援等を受けることなく、基本的に自治体の自助努力によって災害管理業務を実施する体制と推察される。

5.1.3 トルコの災害リスク管理に係る政策

トルコの災害リスク管理や防災に関する国レベルの計画は国家開発計画をもとに AFAD によって策定されている。

トルコの「第 11 次国家開発計画（2019 ～2023 年）」においても、減災への取組を通じた、災害への理解促進や災害に強靱な社会の構築、災害による人命・資産損失の最小化を示しており、防災への取組みを推進している。具体的には、国レベルの防災計画は、TAYS（トルコ災害管理戦略文書）を頭に、災害発生前・災害発生時・災害発生後の戦略を示す計画として、それぞれ TARAP（トルコ防災計画）、TAMP（トルコ災害対応計画）、TASIP（トルコ災害復興計画）から構成されている。また、TARAP と TAMP は、既に策定・発効済みであり、TASIP も 2023 年 1 月に発表された（図 5-1）。



出典: AFAD ホームページの情報をもとに調査団加筆

図 5-1 トルコにおける国レベルの防災計画と策定状況

(1) トルコ災害管理戦略文書（TAYS）

TAYS は、トルコ国の災害管理システムのビジョンを示すものであり、既存および新たな災害リスク、あらゆる災害や緊急事態、災害管理のすべてのプロセスを包括している。2017 年 12 月の「災害と緊急事態最高評議会（Disaster and Emergency High Council）」において、TAYS の発効が決定された。

TAYS では、資源の有効活用等、効果的な災害管理の手法が記載されており、公共機関や組織、学術機関、民間セクター、NGO、メディア、個々の市民から国際機関が、災害管理の関係者として記載されている。

(2) トルコ防災計画（TARAP）

TARAP は、AFAD の 2022 年から 2030 年を対象とする国家計画で、災害リスクを最小限に抑えることを目的としている。TARAP では、災害によって引き起こされる物理的、社会的、経済的、環境的、および心理的な損害や損失を防止または最小限に抑えることを目指している。また、持続可能で災害に強い生活環境を創造し、災害が発生する前に準備・実施されるべき基本原則の確立も狙いとしている。TARAP には、11 種類の異なる災害に関連する 17 の目標、66 のターゲット、および 227 の行動計画が含まれている。2022 年 7 月 8 日に大統領の承認を経て公表された。

仙台防災枠組（2015-2030）で定められる優先事項が、TARAP の優先事項として組み込まれており、各戦略の優先事項の内容には、目標、目的、行動、担当組織、補助担当機関が定義されている。また、それぞれの行動に対して「短期（2022-2024）、中期（2022-2028）、長期（2022-2030）」という 3 つの期間が指定されている。

(3) トルコ災害対応計画（TAMP）

TAMP の目的は、災害および緊急事態に関連する対応活動に参加する省庁、機関および組織、民間企業、NGO の役割と責任を明確にし、災害が発生前、発生時、発生後の対応計画の基本原則を確定することである。TAMP は、トルコにおいて発生した過去の災害に基づいて、効果的な災害対応を確保するために作成され、初版は 2014 年に公表され、最新版は 2022 年に発効した。

TAMP には国レベルで 25 の災害グループと地方レベルで 23 のグループが含まれており、大統領府広報局、内務省、家族・社会サービス省、MoEUCC、エネルギー・天然資源省、MoF、MoH、農林水産省、MOT、トルコ赤十字社の総局長などが主要担当機関として位置づけられている。他の省庁、機関、組織は補助担当機関として位置づけられている。

(4) トルコ災害復興計画 (TASIP)

トルコ災害復興計画 (TASIP) は、災害復興のプロセスを効果的・迅速に進めるために、AFAD によって策定される計画であり、2023 年 1 月に発表された。当計画は、災害後の復興活動をより体系的かつ協力的に実施することを主な目的として、災害発生後は可能な限り早く災害発生前の日常生活ができるような早急な取り組みを図る。

5.2 日本の防災法規・基準の調査

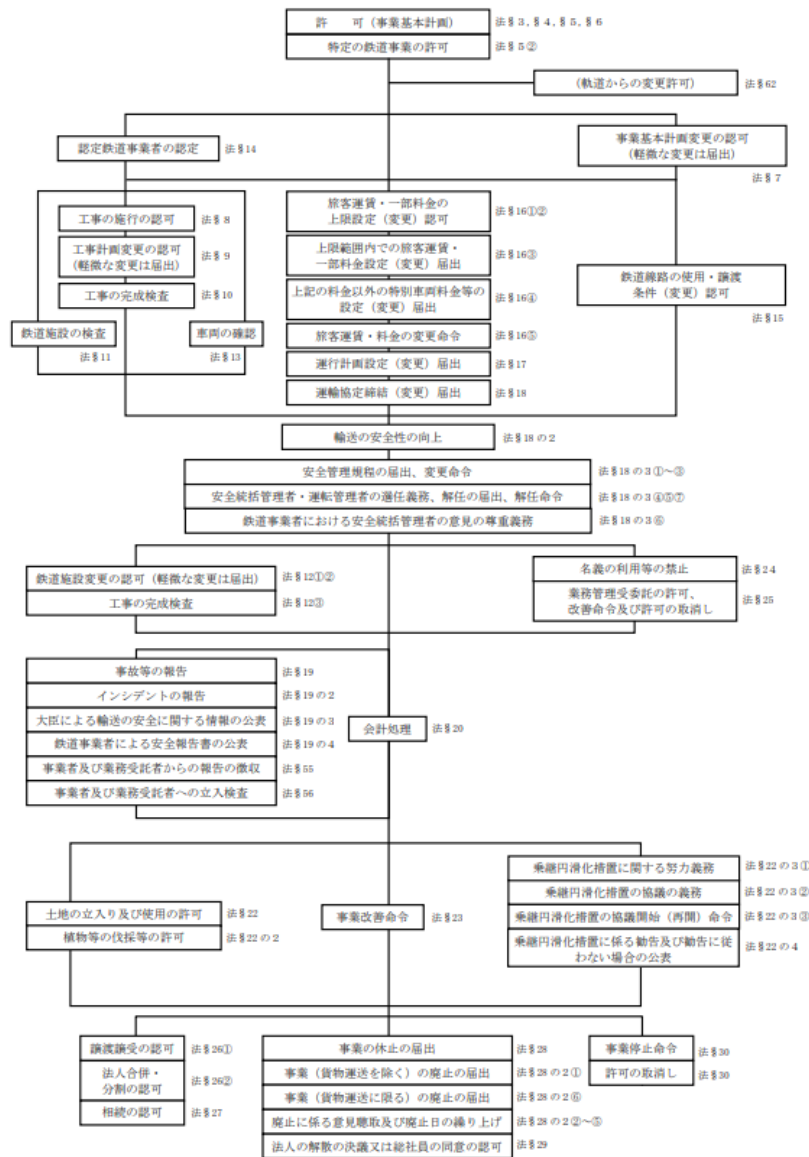
5.2.1 日本の鉄道の技術基準

(1) 日本の鉄道運営形態

日本の鉄道事業法の体系を図 5-2 に、鉄道事業者における鉄道運営形態の概念を図 5-3 に示す。鉄道事業者は国土交通省の許認可に基づき、鉄道事業者本体が詳細に至る業務計画を策定・実行し、鉄道を運営するとともに、メーカーや工事業者等を指揮する形態を取っている。鉄道事業者は法的に建設から運営に至る鉄道に関する全ての責務を負っており、自ら実施する能力を有することが事業許可の条件となっている。

こうした背景から、日本における鉄道事業者は、法令は遵守しつつも各社独自の技術体系を作り上げており、鉄道界共通の規格の整備は十分に行われてこなかった。

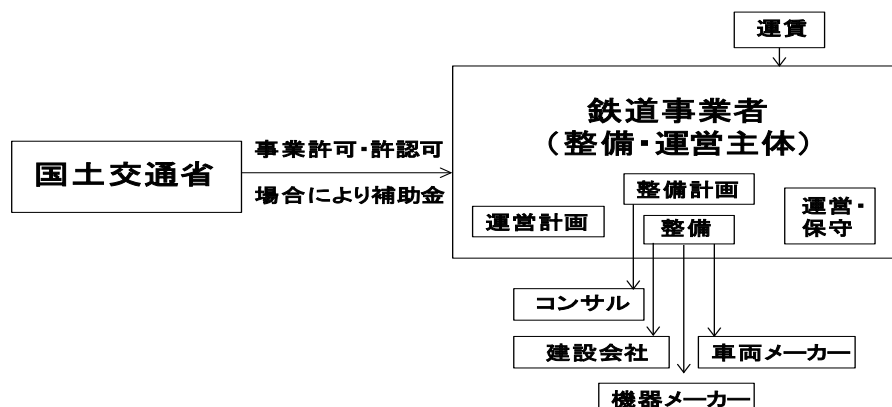
鉄道事業に係る鉄道事業法（昭和 61 年法律第 92 号）の体系



（凡例）法 § 5 ②：鉄道事業法第 5 条第 2 項

出典：国土交通省鉄道局

図 5-2 鉄道事業法の体系



出典：田中一弘「海外における鉄道運営とビジネスの可能性」、JREA 誌 2017 年 1 月号

図 5-3 日本の鉄道運営形態

(2) 日本の鉄道技術基準

「鉄道に関する技術基準」は安全かつ安定した鉄道の運行に際して鉄道設備が備えるべき性能を規定した、いわゆる性能規定である。これに加えて鉄道事業者の技術的判断の参考、国土交通省の許認可などの審査に際しての判断基準を明確にするため、省令などの解釈は強制力を持たない形で具体化、数値化して明示した「解釈基準」および「解説」が定められている。

鉄道事業者は、省令および解釈基準あるいは解説などを適用しながら、個々の実情を反映した詳細な社内基準「実施基準」を定め、この基準に基づき施設および車両の設計、運転取り扱い、保守などを行っている。

鉄道施設が備えるべき性能および運用方法は、省令および解釈基準並びに実施基準で定められており、実際の鉄道施設はこれらの規程類に加えて JIS 等の国内規格に基づいて設計・工事施工・運用されている。以下に適用技術基準体系を示す。

1) 日本国内の鉄道施設に関する技術基準

i. 「鉄道に関する技術基準」

「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」（以下、技術基準という）は、鉄道営業法第 1 条の規定に基づいて 2001 年に公布、2002 年に施行され、その後改定が加えられたもので、次の 11 章で構成されている。第一章総則、第二章係員、第三章線路、第四章停車場、第五章道路との交差、第六章電気設備、第七章運転保安設備、第八章車両、第八章の二その他の設備、第九章施設および車両の保全、第十章運転、第十一章特殊鉄道。

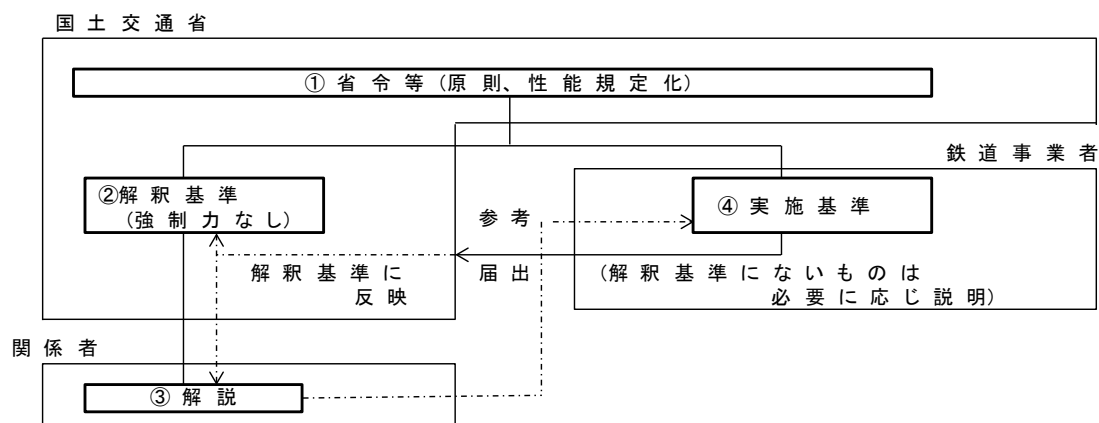
上記の技術基準においては、鉄道事業者の技術的自由度を高め、また新技術の導入や線区の個別事情への柔軟な対応を可能にするなどのため、個々の数値や仕様を規定するのではなく、できる限り体系的な性能要件を示した「性能規定」としている。

ii. 「解釈基準」

鉄道局長が通達し、性能規定を運用するに当たり、鉄道事業者の技術的判断の参考に供するとともに、国土交通省の許認可などの審査に際しての判断基準を明確にするため、省令などの解釈を具体化、数値化して明示したもの。

iii. 「解説」

必要に応じ、実務者の参考になるよう、省令や解釈基準の設定根拠、考え方をまとめたもので、「鉄道に関する技術基準」が該当する。これらの関係を図 64 に示す。



出典：国土交通省鉄道局

図 5-4 省令・解釈基準・実施基準・解説の関係（国土交通省鉄道局）

2) 鉄道事業者社内規格

i. 「実施基準」

鉄道事業者は、省令などに適合する範囲内で、解釈基準、あるいは解説などを参考にしながら、個々の実情を反映した詳細な「実施基準」を策定し、これに基づき施設、車両の設計、運転取扱などを行う。

鉄道事業者が策定する「実施基準」については、「解釈基準」にない「実施基準」の内容の確認およびその速やかな解釈基準への反映による広範な普及、個別手続き・事後チェックの効率化・迅速化などの理由から、その策定または変更の際に鉄道事業者は事前に国土交通省にその内容を届け出る。

ii. 「設計施工標準」

鉄道事業者が策定した「実施基準」に適合する仕様、施工方法等を示したものである。鉄道施設に関して、機能の定義・要求性能の規定・標準設計・設計計算方法・試験方法等の詳細を定めており、日常の設計・保守作業に活用する。旧国鉄では鉄道施設に関して、トンネル・高架橋等各種の設計施工標準を策定していた。現在でも各鉄道事業者ではそれぞれ設計施工標準または同様の基準を定めているが、原則として公開されていない。

5.2.2 日本における災害発生時の復旧費用分担

1) 原則：鉄道事業者の全費用負担

日本の鉄道では、上記法規に従って鉄道施設所有者（多くの場合鉄道事業者が該当）が自らの責任で施設の保守・運用を実施する。したがって、地震・豪雨・強風・大雪等の自然災害発生時の復旧作

業・復旧費用、さらに防災・減災対策とも鉄道事業者負担が原則である。

2) 鉄道の防災・減災対策による災害予防対策費用の政府負担

近年の自然災害多発に伴い鉄道施設の被害の増大・激甚化する中で、鉄道の早期復旧など利用者目線に立った鉄道の防災・減災対策の一層の充実を図るため、平成 30 年 10 月に国土交通省から「鉄道の防災・減災対策」が発行された。

「鉄道の防災・減災対策」では、これまでの鉄道事業者および政府の防災対策の進捗と最近の災害状況を俯瞰し、以下の対策を打ち出している。

表 5-2 鉄道の防災・減災対策

	地震	豪雨
災害予防 (ハード対策)	○耐震補強の着実な推進(従来の補強対象に加え、新たな補強対象の検討)	○鉄道河川橋りょうの流失防止等を促進するための支援策の検討。 ○電源設備等の重要設備に対する浸水対策等。
	○鉄道事業者の用地外からの土砂流入等を防止するための検討。	
災害復旧 (ハード対策)	○関係する事業との連携・調整による早期復旧に向けた仕組みづくり。 ○隣接地を含む斜面崩壊箇所等の早期復旧、再発防止に向けた仕組みづくり。 ○鉄道復旧等に向けた関係者間の合意形成のあり方に向けた検討。	
災害応急対策 (ソフト対策)	○帰宅困難者対策について、定期的な進捗状況の調査・把握と必要に応じて改善を指導。 ○発災直後の旅客(特にインバウンド)への情報提供の強化に向けた検討。	
	○踏切長時間遮断対策に向けた関係者との調整。	

出典:国土交通省

この方針に基づき、鉄道施設総合安全対策事業費に対する補助に防災・減災対策に関連する内容が打ち出され、運用されている。

■ 浸水対策

1. 目的・事業概要

【目的】

河川の氾濫や津波等が発生した場合に深刻な浸水被害が懸念される地下駅等の出入口やトンネルの坑口等の浸水対策を推進し、浸水被害の未然防止や拡大防止を図る。

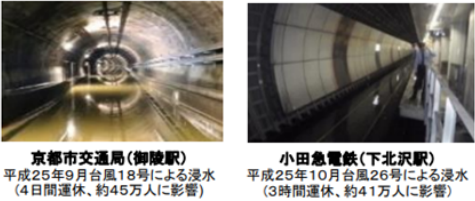
【事業概要】

地方公共団体が定めるハザードマップ等により浸水被害が想定される地下駅等を対象に、出入口、トンネル等への止水板や防水扉等の整備を支援。また、近年の豪雨災害の傾向を踏まえ、新たに電気設備等の浸水対策についても支援する。

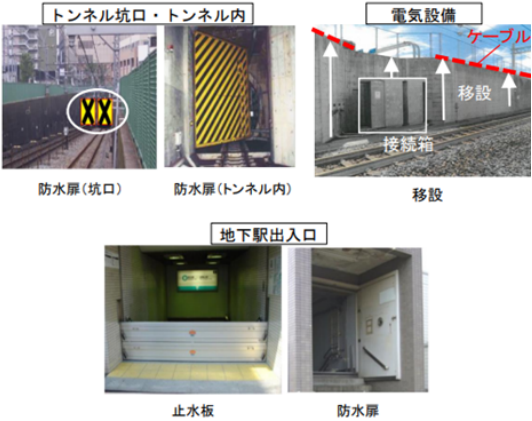
2. 制度の内容

- 補助対象事業者：鉄軌道事業者
(JR東日本・東海・西日本は除く)
- 補助対象施設：駅出入口・トンネル坑口・換気口・電気設備等における止水板、防水扉、浸水防止機等の整備又は移設
- 補助率：1／3以内
(地方公共団体は協調補助を実施)

【地下駅の浸水被害の例】



【浸水対策の例】



出典:国土交通省

図 5-5 鉄道の浸水対策

■ 豪雨対策

1. 目的・事業概要

【目的】

激甚化・頻発化する豪雨災害を踏まえ、河川に架かる鉄道橋梁の流失等防止対策や、鉄道に隣接する斜面からの土砂流入防止対策を推進し、鉄道利用者の安全確保及び鉄道の安全・安定輸送の確保を図る。

【事業概要】

利用者が多い線区等を対象に、橋脚の洗掘防止対策や、橋梁の架替、鉄道に隣接する斜面の補強等の豪雨対策を支援。

2. 制度の内容

- 補助対象事業者：鉄軌道事業者（JR東日本・東海・西日本は除く）
- 補助対象事業：橋脚の補強（洗掘防止対策）、異常検知システムの整備、橋梁の架替、鉄道隣接斜面の補強等
- 補助率：1／3以内

事業区分	対象線区	対象事業
鉄道河川橋梁対策事業	・片道断面輸送量1日1万人以上15万人未満の路線	・橋脚の基礎部分の補強 ・異常検知システムの導入 ・橋梁の架替
	・優等列車若しくは貨物列車が運行する路線	
鉄道斜面対策事業	・片道断面輸送量1日1万人以上15万人未満の路線	・法面防護工 ・落石防護工 等
	・優等列車若しくは貨物列車が運行する路線	

【鉄道隣接斜面からの土砂流入防止対策の例】



JR西日本 呉線の被災状況
(平成30年7月豪雨)



コンクリート枠による斜面の補強

【鉄道河川橋梁の流失・傾斜対策の例】



ブロックによる橋脚の補強

出典:国土交通省

図 5-6 鉄道の豪雨対策

■ 耐震対策

1. 目的・事業概要

【目的】

首都直下地震や南海トラフ地震等の大規模地震に備え、主要駅や高架橋等の耐震対策を推進し、鉄道利用者の安全確保等を図る。

【事業概要】

首都直下地震・南海トラフ地震で震度6強以上が想定される地域等において、利用者が多い線区等を対象に、駅、高架橋等の耐震対策を支援。

2. 制度の内容

○補助対象事業者：鉄軌道事業者（JR東日本・東海・西日本は除く）

○補助対象事業：駅の耐震補強、高架橋等の耐震補強、落橋防止対策の実施 等

○補助率：1／3 以内

目的	対象地域	対象線区・駅	対象施設
大規模地震に対して構造物が崩壊（せん断破壊先行型）しないこと等を目的とする補強	首都直下地震・南海トラフ地震で震度6強以上想定地域等	片道断面輸送量1日1万人以上の線区（片道10本／時以上の線区等）	・高架橋 ・橋りょう （ロッキング橋脚を有するものを含む）
	全国	緊急輸送道路等と交差・並走する線区 乗降客1日1万人以上の駅	・トンネル ・跨線橋等
早期に復旧を図る観点から、変状を最小限にとどめること（曲げ破壊先行型）を目的とする補強	首都直下地震・南海トラフ地震で震度6強以上想定地域等	片道断面輸送量1日5万人以上の線区	・高架橋

【駅の耐震対策の例】



鉄骨ブレースによる駅ホームの屋根の耐震補強

【高架橋の耐震対策の例】



鋼板巻きによる高架橋の耐震補強

出典：国土交通省

図 5-7 鉄道の震災対策

■ 鉄道施設老朽化

1. 目的・事業概要

【目的】

老朽化が進む鉄道の橋梁やトンネルの適切な維持管理・更新を推進し、鉄道利用者の安全確保及び鉄道の安全・安定輸送の確保を図る。

【事業概要】

地域の人口減少が進み、経営環境が厳しさを増す地方の鉄道事業者を対象に、鉄道事業の継続性等を確認した上で、将来的な維持管理費用を低減し長寿命化に資する鉄道施設の改良・補修を支援。

2. 制度の内容

○補助対象事業者：鉄軌道事業者

（JR東日本・東海・西日本・貨物、大手民鉄、準大手民鉄、地方公共団体（第一種・第二種鉄道事業者）は除く）

○補助対象事業：橋梁の重防食塗装

トンネルの覆工コンクリートの補強 等

○補助率：1／3 以内

【橋りょう、トンネルの長寿命化に資する改良・補強事例】



出典：国土交通省

図 5-8 鉄道施設老朽対策

上記の事前対策に加え、被災後の具体的な早期復旧の支援も行われており、その取り組みを以下に示す。

■ 鉄道施設災害復旧事業費補助

【目的】地震や豪雨などの災害で被災した鉄道の早期復旧を支援する。

鉄道軌道整備法に基づく鉄道施設災害復旧事業費補助

2. 制度の内容

【赤字事業者の赤字路線】

- 対象災害：洪水、地震その他の異常な天然現象による大規模災害
- 補助要件：いずれにも該当することが必要
 - ・災害を受けた事業者が過去3年間赤字又は今後5年を超える赤字が見込まれること
 - ・復旧費用が路線の年間運輸収入額の1割以上

【黒字事業者の赤字路線※】(JR豊肥線など)

- 対象災害：激甚災害その他これに準ずる特に大規模の災害
- 補助要件：いずれにも該当することが必要
 - ・災害を受けた路線が過去3年間赤字
 - ・復旧費用が路線の年間運輸収入以上
 - ・長期的な運行を確保する計画の作成

【補助率】

国1/4	地方1/4	鉄道事業者1/2
------	-------	----------

補助率嵩上げ※ 1/4→1/3 (JR只見線)

- 要件：いずれにも該当することが必要
 - ・災害を受けた鉄道に代わる公共交通機関の確保が困難
 - ・事業構造の変更により、復旧した鉄道施設を公的主体が保有

※平成30年6月の法改正により追加




JR東日本 只見線(平成23年7月 豪雨により被災)

特定大規模災害等鉄道施設災害復旧事業費補助

2. 制度の内容

- 対象災害：大規模災害からの復興に関する法律第2条第9号又は、特定非常災害の被害者の権利利益の保全等を図るための特別措置に関する法律第2条第1項に定める災害
- 補助要件：
 - ・災害を受けた事業者が過去3年間赤字又は今後5年を超える赤字が見込まれること
 - ・復旧費用が当該路線の年間収入以上
 - ・長期的な運行の確保に関する計画の策定
 - ・事業構造の変更により、鉄道事業者が復旧した鉄道施設を公的主体が保有 等
- 補助率：

国1/2	地方1/2 ※
------	---------

※補助災害復旧事業費100%充当
元利償還金の95%に対して普通交付税措置
- 適用事例：南阿蘇鉄道、三陸鉄道、上田電鉄、くま川鉄道




南阿蘇鉄道(平成28年4月熊本地震により被災)

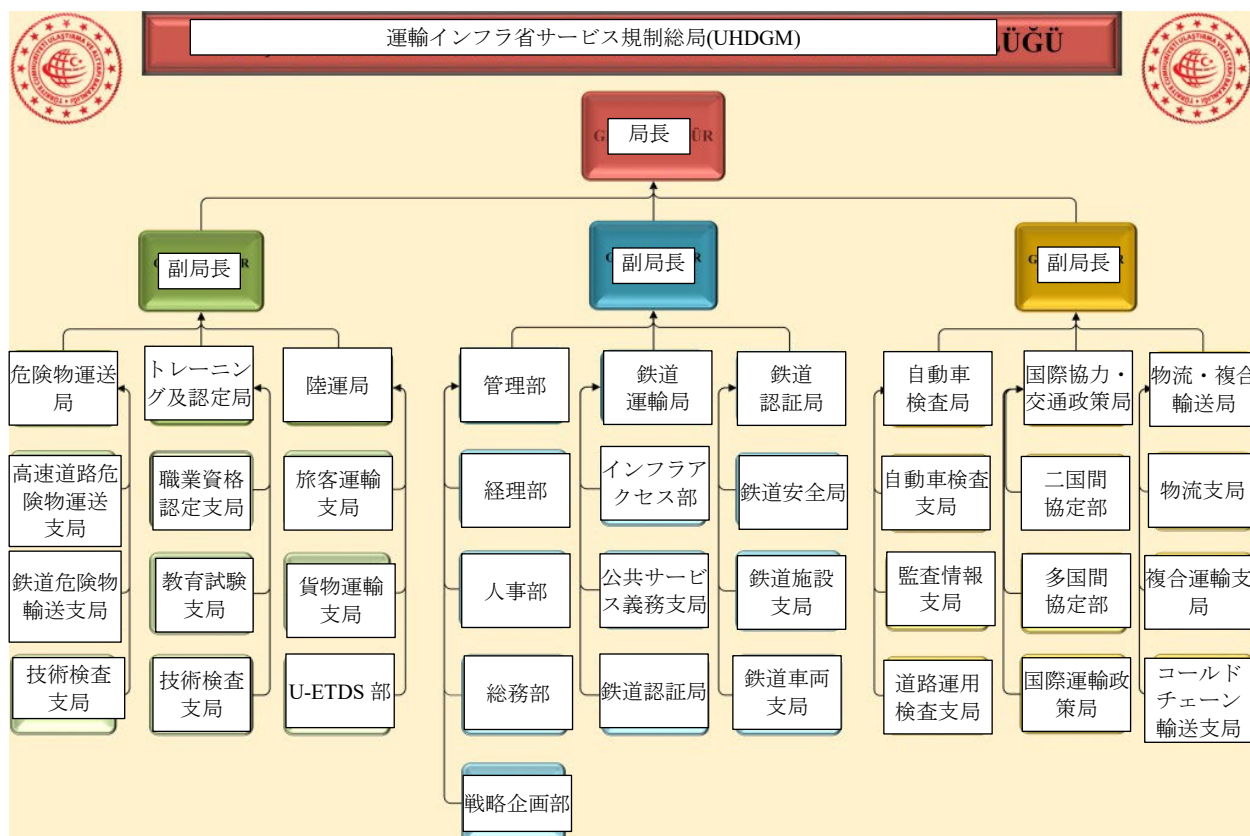
出典：国土交通省報道発表資料

図 5-9 鉄道施設災害復旧事業費補助制度

5.3 トルコの防災法規・基準の調査

5.3.1 トルコ運輸インフラ省サービス規制総局 (UDHGM)

トルコ運輸インフラ省において、サービス規制総局 UDHGM (Ulaştırma Hizmetleri Düzenleme Genel Müdürlüğü)が陸上輸送、すなわち鉄道および自動車輸送を管轄する(組織図を図 5-10 に示す)。UDHGM 内では下記の鉄道運輸局が鉄道運営について、鉄道認証局が技術的事項について管轄する。



出典:UHDGM ホームページ

図 5-10 運輸インフラ省サービス規制総局 (UHDGM) 組織図

(1) 鉄道運輸局の任務 (UHDGM より)

- 鉄道インフラ事業者、鉄道運行事業者、駅または駅運営者、および鉄道における同様の輸送活動のための財務能力、専門的能力、および専門的威信の原則に従って、これらの活動に従事する者の認可証明書を発行し、発行された認可証明書の更新または取り消しに関連する作業および取引を実行する。
- 認可証明書が発行された機関/組織の認可基準の枠組みの中で適合性評価および管理活動を実施する。
- 国際鉄道輸送政府間機関 (OTIF) および欧州鉄道庁 (ERA)内で実施された作業に従い、調整を確保し、この点に関する会議に関連する作業および取引を実施する。
- EU 進捗報告書の作業を綿密に追跡し、鉄道部門に関連する問題を評価し、関連部門に通知し、調整を確保し、意見を形成し、必要に応じて通信を準備する。
- 欧州委員会小委員会の会合の範囲内で鉄道部門に関する研究を綿密に追跡し、この問題に関する会合に関連する作業および取引を遂行し、調整を確保する。
- トルコと EU の金融協力の枠組みの中で、鉄道部門向けのプロジェクト提案書を作成し、プロジェクトの技術的受領書と技術仕様書を作成し、プロジェクトの実施と調整のための作業と取引を実行する。
- 自由、公正、持続可能、独占禁止の方法で鉄道輸送活動に従事する鉄道インフラ事業者と鉄道運

行事業者の間の競争を規制および監督する。

- h.) 鉄道インフラの使用、割り当て、アクセス、価格に関する取り決めを行い、それに関連する作業および取引を実行および監督する。
- i.) 必要に応じて、鉄道インフラの使用料および輸送活動の基本および上限料金の実施を決定し、監督する。
- j.) 鉄道インフラの使用、割り当て、アクセス、価格設定に関する鉄道インフラ事業者と鉄道運行事業者との間の紛争を解決するための決定を下す。
- k.) 鉄道インフラ事業者が決定するインフラアクセス料金について、鉄道輸送市場への影響分析を行い、その結果に応じて必要な措置を講ずる。
- l.) 鉄道インフラ事業者の容量配分、利用料金契約、交通実績を評価し、必要な意見・提案を行い、対策を講じる。
- m.) 鉄道輸送の分野でサービスを生産する鉄道インフラ事業者、鉄道運行事業者、および鉄道を旅行する乗客の権利、義務、および責任を決定する。
- n.) 鉄道旅客輸送における公共サービスの義務に関する手順と原則を決定し、公共サービス契約を準備し、実行し、サービスの調達に関連する作業と取引を行い、契約の遵守を検査する。

(2) 鉄道認証局の任務（UHDGM より）

- a.) 鉄道輸送における鉄道インフラおよび鉄道運行事業者の安全性能を向上させるため、当該事業者の安全管理システムを確立するための規制、共通安全方法および指標を作成し、適合性評価および管理活動を実施する。
- b.) システム工学研究と連携して RAMS 計画を作成し、運用効率を高めるための活動を組織および実行する。
- c.) 鉄道インフラ事業者の安全認可および鉄道運行事業者の安全証明書を発行する。
- d.) 鉄道の安全に関する活動を含む、前暦年の鉄道運行事業者および鉄道インフラ事業者の年次安全報告書に基づいて年次報告書を作成する。
- e.) 関係機関が作成し、総局に送付した事故および/または事件の報告書を検討し、必要な意見や提案を行い、関係機関と連携してこの問題を評価する。
- f.) 安全証明書と安全認可を持つ鉄道運行事業者および鉄道インフラ事業者に対して、関連法の枠組みの中で安全手順の観点から検査活動を実施する。
- g.) 鉄道部門において安全上重要な職務を遂行する要員、特に列車運転士、鉄道インフラ事業者および鉄道運行事業者の専門的能力条件を、関係機関および組織と連携して決定し、この点に関する訓練を提供又は実施し、試験を実施し又は実施し、許可し、検査活動を実施する。
- h.) MOT に代わって運転士を訓練するための列車運転免許証を発行する。
- i.) 鉄道部門で安全上重要な業務に従事する要員に義務的な職業訓練を提供する組織のカリキュラム/カリキュラムの決定について、関連機関/組織との共同研究を実施する。
- j.) 相互運用性のための技術要件および EU 法に従ったその他の適用可能な国際規格の枠組み内において、国内で生産される、または海外から輸入/リースされ（新旧）、全国の鉄道インフラネットワークで使用されるあらゆる種類の牽引および牽引鉄道車両の基準を決定し、これらの基準に従って型式承認を行い、それらの登録に関する手順と原則を決定し、記録を保管する。

- k.) 国の鉄道インフラネットワークで使用されるあらゆる種類の牽引および牽引鉄道車両の設計と製造が関連する基準に準拠していることを管理、試験、検査作業を実施する通知機関、任命機関、独立リスク評価機関、および UTP 評価機関に承認し、これらの問題に関する手順と原則を決定する。
- l.) 国の鉄道インフラ網で使用されるあらゆる種類の牽引および牽引鉄道車両の保守、修理、およびもしあれば定期的な技術検査を実施する者の最低限の資格を決定し、それらを承認および監督し、これらの問題に関する手順と原則を決定する。
- m.) 鉄道の地上サブシステム（インフラ、自動化、信号、電化）の検査に関する手順と原則を決定し、それらを実施し、基準に従って認証する。
- n.) 鉄道の地上サブシステム（インフラ、自動化、信号、電化）の検査を実施する者の最低限の資格を決定し、基準に従ってそれらを認可および検査する。
- o.) 信号、自動化システム、および電化システムの適切な基準を決定することにより、パフォーマンスが確実に向上させる。
- p.) シグナリングシステム用に作成された RAMS ドキュメントを技術開発に照らして評価し、パフォーマンスを向上させるための適切な戦略を実現する。
- q.) 都市鉄道プロジェクトの範囲内で地域性を支援する戦略を実現するため、この文脈で作成される計画でいくつかの作業活動を実施する。
- r.) 都市鉄道に関する規則を作成し、準備する。
- s.) 都市鉄道に関連して実施される活動の技術的発展を追跡し、関連する変更が付加価値としてシステムに付加されるようにする。
- t.) 連絡線に関する規則を作成し、利害関係者間の必要な調整を確保する。

(3) 鉄道認証局 UHDGM のヒアリング結果

2024 年 6 月 27 日に UHDGM の Mert 副長官に面会し、UHDGM の任務・災害時対応等についてヒアリングした。

- a.) 現在の UHDGM のスコープは TCDD の建設・運行に関する技術標準・規制制定である。近い将来のアンカラメトロ・メトロイスタンブール等の都市鉄道の管轄を検討しており、法律を整備して規制（ACT）まで持って行きたい。いずれにせよ、法に基づく技術基準の整備が UHDGM の業務である。
- b.) Mert 副長官はメトロイスタンブールでの勤務経験もあり、鉄道実務に精通している。
- c.) TCDD の上下分離と欧州 TSI 適用に際して、TCDD との不整合が多かった。2020 年の MERT 副長官就任以降、TCDD の国際運行比率が小さいことからトルコ国内鉄道に適用する国内基準を整備し、実際の鉄道運営への支障を減らしている。
- d.) 日本の上下一体運営の鉄道の考え方は参考になるし、日本の自然災害に対する早期警戒システムや事前対応の現状に対して、トルコ国内でも早期警戒システムの導入を技術基準に盛り込む等、積極的に対応していきたいとのことであった。
- e.) 都市鉄道の技術基準は地方自治体毎に定めている。例えば、アンカラメトロは雨が少ない地域なので洪水対策は無い。メトロイスタンブールでは Mert 副長官時代に安全基準を整備した結果、

洪水があっても大丈夫である。いずれにせよ地方自治体だけでは都市鉄道の安全対策には限界がある。

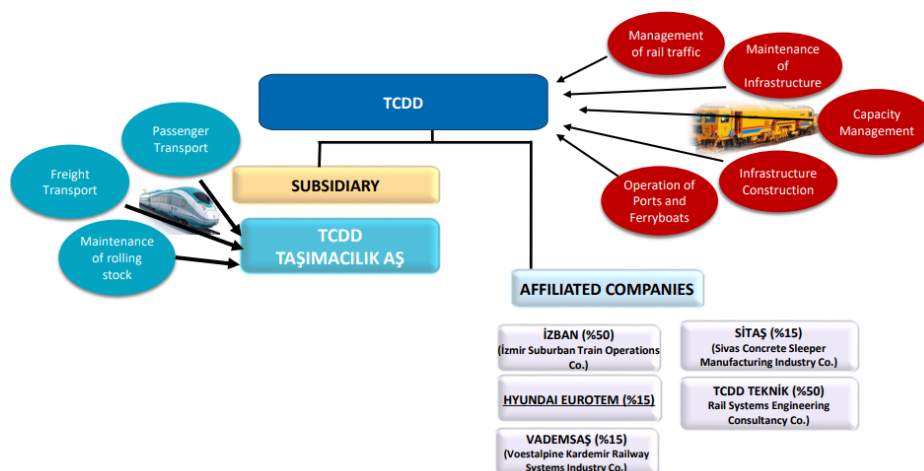
- f.) AFAD・MGM 等他省庁とデータ提携には消極的であった。トルコでは他省庁データ使用は容易では無く、まずは TCDD が自力で必要なセンサー等を整備していくべきとの考えであった。
- g.) 日本では鉄道が社会に根付いており、鉄道運営会社が社会から信頼を得ている。利益を出していることもあり、お客様を危険から守る思想で自主的に様々な安全対策を進めている。混雑への対応も、お客様からの苦情対応が主眼ともなっていると説明した。
- h.) トルコの場合、鉄道は利益を出していない。したがって法に基づいて技術基準を整備しないと、新しい安全対策は普及できないだろうとの見解であった。

5.3.2 トルコ国鉄 (TCDD)

(1) トルコ国鉄の上下分離運営形態

TCDD は、2017 年に設備全般を所有する国営インフラストラクチャー管理会社 TCDD と、旅客と貨物の運行会社 TCDD Transport に再編成され、TCDD はトルコ鉄道の同一企業グループとしていわゆる上下分離の鉄道運営形態となった。

TCDD は投資計画の枠組みの中で、MOT と国家公務員は既存路線の改修を行い、鉄道車両を国際基準に合致させ、信頼性を向上させ、機関で働く技術職員に国際基準の訓練を提供している。



出典: TCDD 資料

図 5-11 2017 年以降のトルコ鉄道組織

この鉄道運営の上下分離は、鉄道事業者間の競争を導入する手段として 1991 年の欧州で開始され、その後アジア等の世界各国の鉄道でも採用されている。同年に発行された EU 指令 91/440/EEC で「インフラストラクチャー部門と輸送部門の会計分離」が規定され、さらに 2001 年の 2001/14/EC に基づいた第 1 鉄道パッケージではダイヤ設定責任を旅客と貨物の輸送事業者すなわち上から、インフラ管理者すなわち下に移管し、鉄道事業者間競争を促進する方策として上下分離が進められた。

ドイツ・フランス・韓国等では、TCDD と同様にインフラ管理者と輸送事業者は同一企業グループであるのに対して、英国・スウェーデン等ではインフラ管理者と輸送事業者はまったく別組織となっ

ている。

上下分離運営形態の鉄道事業において、「上」（輸送事業者）は、「下」（インフラ管理者）に対して線路利用料を支払う。この線路使用料の決定に際しては、インフラ管理者の支出、すなわち管理・更新に要する費用と、輸送事業者からの収入との均衡が目標となっている。収入の一部を政府補助で賄う国もある（小澤、根本、「欧州の鉄道上下分離における線路使用料の役割」、交通学研究第 56 号、2012）。

(2) 大規模災害時の費用負担：非常事態宣言の活用

上下分離運営形態鉄道において、大規模な自然災害が発生した場合には、その復旧費用はインフラ管理者の通常の支出を大きく上回る。輸送事業者は契約上、このような臨時支出の責を負わない。

2023 年 2 月 6 日発生のトルコ・シリア地震においては、非常事態宣言に基づいた緊急予算措置が施行され、TCDD は国家予算の割り当てによって復旧予算を得ている。具体的には、トルコ共和国憲法第 119 条および非常事態法第 2935 号に基づいて、被災した県に非常事態を宣言する大統領令第 6785 号が採択され、2 月 8 日午前 1 時から施行された¹⁷。7 月には国会で追加予算を含む補正予算案が採択され、年度当初予算の約 25%増に相当する 1 兆 1,190 億 5,400 万 5,13 万 TL が追加された¹⁸。このうち 4,820 億 8,900 万 TL は AFAD に割り当てられた。残りの一部は MOT を経由して TCDD の復旧にも充てられた。この費用には被災者向け住宅建設から食糧援助、インフラストラクチャー復旧まで関連する全費用が含まれている。

2023 年に大統領戦略予算部から発行された地震報告書によれば、TCDD 路線の被害復旧予想額は合計 174 億 TL であった¹⁹。TCDD は地震関連の補修工事のために 2023 年から 29 年にかけて MOT を経由して 340 億 TL を確保しており、6.2.2 で紹介する TCDD が 2023 年に契約した関連工事 4 件、合計金額 61.75 億 TL はその一部である。2024 年度は 110 億 TL、2025 年度は 50 億 TL が割り当てられている²⁰。なお近年の TL 対外為替レート変動が非常に大きいため、ドル・円換算はここでは行わない。

トルコ以外の国において、大規模自然災害に対して政府が復旧費用を支出した例もある。2021 年 7 月にドイツ・オーストリア・ベルギー等で大規模な水害が発生し、ドイツ鉄道は 600km に及ぶ軌道被害を被った。この状況に対してドイツ政府は同年 8 月に 300 億ユーロの復興基金設立の合意を発表した。同基金のうち 280 億ユーロは被害を被った 2 州の復興に充てられ、残り 20 億ユーロは連邦政府が請け負って、鉄道や道路、橋などのインフラ整備費用をカバーすることとなった。（2021 年 8 月 12 日付ヨーロッパ経済ニュース「独、被災地の復興基金を設立 西部支援に総額 300 億ユーロ拠出」）

(3) 災害対応の法的根拠

運輸インフラ省鉄道認証局が発行した TCDD および TCDD Transport の安全に対する規制は数種ある。それぞれ自然災害に対して以下の規定があるが、具体的な記述には至っていない。

¹⁷ “State of emergency declared: What does it mean for journalists covering the earthquake?”, 09 February 2023, <https://www.mlsatuturkey.com/>

¹⁸ The 2023 budget of the Republic of Turkey was insufficient, it was added, 07 July 2023

¹⁹ 2023 KAHRAMANMARAS AND HATAY EARTHQUAKES REPORT, Presidency of Strategy and Budget. (2023)

²⁰ Turkey: Ankara keeps rail funds flowing By David O’Byrne, 11 March 2025, Railway Gazette International

1) Railway Safety REGULATION 鉄道安全規則

(第7条 安全管理システムの基本要件及び構成要素

(2) すべての事業者が構築すべき安全管理体制には、以下の基本的な要素を含む。

3) リスクマネジメントの結果としての安全管理システムの継続的改善、

g) 緊急時対応計画の作成 すべての事業者は、脱線、衝突、火災、爆発、有害化学物質の拡散、自然災害など、鉄道運行中に発生する可能性のあるあらゆる種類の緊急事態、事故および事件、緊急対応、闘争、応急処置、避難を必要とする事故および事件においてとるべき情報および実質的な行動を含む緊急行動計画を作成しなければならない。各計画は定期的に見直され、事故・事件に係るすべての企業、関連部門、権限を与えられた公的機関が参加して訓練が実施される。

g) 事故・インシデントの調査方法の決定： すべての事業者は、事業活動中に発生した事故、インシデント、ニアミス、その他の危険なインシデントが報告され、調査され、根本原因が究明され、必要な対策が講じられ、安全管理システムが見直されるような手順を確立しなければならない。

2) THE REGULATION ON THE DETERMINATION OF THE RAILWAY PASSENGER TRANSPORT LINES TO BE SUPPORTED UNDER PUBLIC SERVICE OBLIGATION AND THE PUBLIC SERVICE OBLIGED TRAIN OPERATOR 公共サービス義務および公共サービス義務鉄道事業者の範囲内でサポートされる鉄道旅客輸送路線の決定に関する規則

第38条-(1) 入札参加資格の評価に使用するため、入札者は本省発行の有効な鉄道旅客列車運行事業者認可証明書および安全証明書を有し、これらの書類を本省に提出しなければならない。

3) GUIDE FOR APPLICATION FOR SAFETY 鉄道安全書類登録アプリ使用ガイド

鉄道における安全書類申請・登録用アプリの説明書。書類書式等を細かく規定しているが、設備性能等を規定していない

4) Railway Safety Critical Tasks REGULATION 鉄道安全重要業務規則

鉄道における安全担当者業務に関する規定であり、設備を規定していない

5) TCDD Transport GENERAL DIRECTORATE INSURANCE DIRECTIVE

鉄道運行における様々な状況での保険事項を規定。自然災害の例として地震・火山噴火・嵐・洪水・津波等を取り上げているが、災害防止は規定していない。

5.3.3 都市鉄道

アンカラ地下鉄およびイスタンブール地下鉄に代表されるトルコの都市鉄道は、インフラ管理者と輸送事業者が同一企業である(TCDD Transportが運行するイスタンブール地下鉄M11号線を除く)。

これらの都市鉄道は法制度上、EU 各国と同様に大都市圏自治体の監督下にあり、鉄道認証局UHDGMの直接監督下にはない。

また、各大都市圏自治体はそれぞれ災害調整センターAKOM (Disaster Coordination Center tur: Afet Koordinasyon Merkezi)を持ち、災害時には都市鉄道はAKOMと連携を取って行動する。

表 5-3 アンカラ地下鉄・イスタンブール地下鉄の防災・対応体制の比較

項目	アンカラ地下鉄 EGO	メトロイスタンブール
規定、基準整備状況	- EGO 内部用の緊急取扱規定(日本の運転取扱実施基準に相当)があり、関連研修も実施。数値的な運行管理の基準は設定されていない。 - 規制当局の一定の監理も受けて、ルールを設定している	- 設計基準および運用規定等を整備。 - 例えば、地震発生時は地震規模によって、状況監視・速度制限・運行停止等の処置を定めている。
災害対応、復旧経験	無し	1999 年マルマラ地震では、運行停止して 6 時間かけて全線を目視点検(当時 M1 線のみ営業)
他省庁、自治体当局との連携体制	- 被災中や被災後の対応(救助及びがれき除去)は、AFAD・市役所が担当。EGO は鉄道運行事業者として日常の安全管理やメンテナンスを担う - 災害後は、一時的に(特に洪水)EGO 対応があるが、AFAD 担当者が現場到着後、EGO から管理権限を委譲する場合がある	被災中や被災後の対応(救助及びがれき除去)は、AFAD や大都市圏自治体が担当。設備点検も AFAD 担当
センサー類配備状況	- 降雨などの気象情報は、AKOM や MGM の情報を用いている。 - AKOM による警報の発令や、MGM の Web 上で公開されているレーダー雨量データを活用している。 - EGO 独自の地震・洪水等のセンサーは予算制約のため設置が不可	- 自然災害シナリオを作成し、必要な気象センサー準備。 - センサー費用はイスタンブール大都市自治体負担で、鉄道以外もデータを使用。
将来計画	新線建設時の防災設備充実に努めており、既存線区への改良計画は無い。	- ガスと電気は地震発生時に自動で止めている。列車運行自動停止を 3 線区に入れようとしている。 50 か所にセンサー、地震計、雨量計を付ける計画を持つ

出典:ヒアリングおよび資料を基に調査団がまとめた

(1) アンカラメトロ EGO のヒアリング結果

2024 年 6 月 27 日に EGO 本社を訪問し、EGO の現状と災害時対応等についてヒアリングした。その後、Macunkoy 駅近傍の車両基地と同地の運行管理センターを視察した。

EGO では、路線の設計施工に際して、災害対策を十分考慮しており、追加対策はほとんど実施していない。災害発生時にはアンカラ大都市圏自治体による支援を前提としており実績が多く、中央省庁や AFAD との連携は薄い印象だった。

1. EGO における防災管理の概況

- a.) EGO 内部用の緊急取扱手順 Emergency Operation Procedure（日本の運転取扱実施基準に相当）が策定されており、初版は 1997 年、現バージョンは 2017 年に更新、156 ページある。また、設備の更新（M4 線開業）に伴い、同 Procedure の更新も行う予定である。緊急対応の関連研修も実施している。
- b.) 同手順では、数値的な運行管理の基準は必ずしも設定されていないものの、一定程度の定められた取扱の社内規定として明文化されている。また、規制当局の一定の監理も受けて、ルールを設定している。
- c.) 防災管理について、直接 AFAD や Ministry から指示を受けたことはない。関係機関からの指導を受けながら、避難訓練を実施することがある。また、AFAD から防災対応能力確認のための情報を請求されたことがある。
- d.) 避難訓練は、火事、人質救出などの緊急状況を想定し、年 2 回程度実施している。
- e.) 被災中や被災後の対応（救助及びがれき除去）は、AFAD や市役所が担当する。EGO は鉄道運行事業者として、日常の安全管理やメンテナンスを担う。災害時は一時的に EGO が対応するが（特に洪水）、AFAD からの担当者が現場到着後、EGO から管理権限を委譲する場合がある。
- f.) EGO の建築物や設備の耐震等級は、マグニチュード 9 までの地震に対し崩壊しないレベルとされている。アンカラは、地震リスクの高い地域ではないため、日常の地震に対する備えは特に考えられていない。インフラの設計上の想定寿命は 100 年としている。
- g.) 災害の種別ごとで発生件数が記録されているが、JST とのデータ共有はできない。
- h.) M1 号線の運行管理センター OCC : Operation Control Center は Macunkoy 駅近傍の車両基地にあり、異常時には終点 Koru の車両基地内にある予備 OCC で運行を継続できる。Ankaray 線には予備の OCC は無い。

2. EGO における洪水と地震の災害管理

- a.) 最重視している災害種別は洪水である。止水板、防水扉などの構造物対策が講じられておらず、地震や洪水の検知センサーの設置も無い。
- b.) 各駅における浸水防止計画がある（注：実物は確認できなかった。）
- c.) 換気口の止水装置として、日本の浸水防止機と異なるタイプの浸水防止機器をテストしている。
- d.) 洪水警戒のしきい値は明確に設定されておらず、運転士の目視による。線路内の水位が車両給電用の第三軌条以上に到達した区間は、運転休止とするという規程があるのみ。
- e.) 降雨などの気象情報は、AKOM や MGM の情報を用いている。AKOM による警報の発令や、MGM の Web 上で公開されているレーダー雨量データを活用している。
- f.) 洪水や地震による運転休止の判断は、EGO の運行管理センター OCC : Operation Control Center で行う。運転休止の指令に際しては、複数の上級管理者による承認が必要。
- g.) 日本で言えば荒川タイムラインのような、関連省庁やアンカラ大都市圏自治体との連携を考慮した防災計画はあるが、実態としては鉄道事業者の役割は限定的である。

3. 被害評価と災害復旧における EGO の役割

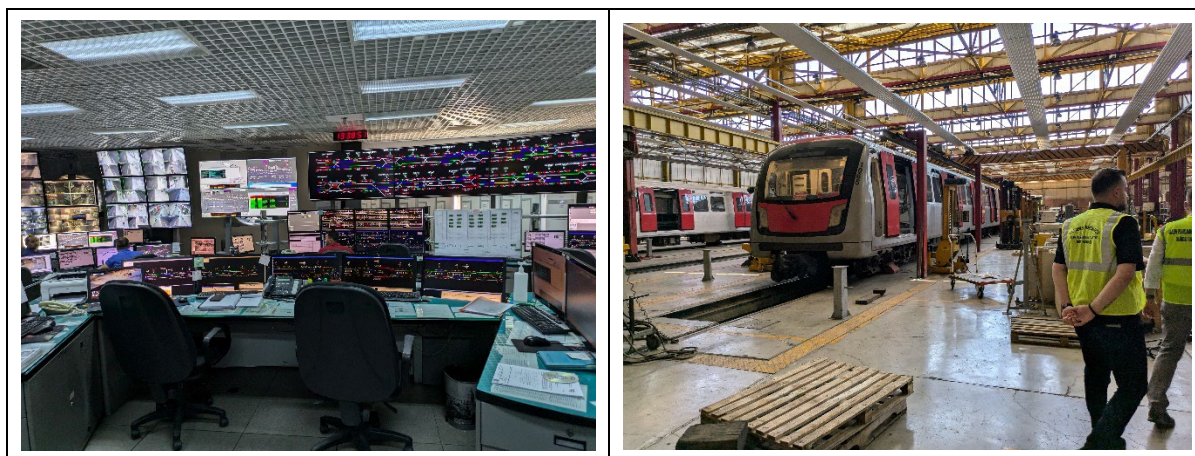
- a.) EGO では組織内の技術者が構造物の被害評価を実施する。これまでのところ、外部機関（他省庁、研究機関等）からの支援を受けた経験はない。
- b.) 営業開始以来大きな災害が無いため、構造物の災害復旧実績はない。

4. EGO の予算

- a.) EGO はアンカラ大都市圏自治体の予算で運営され、プロジェクトや計画実施の目的で、アンカラ大都市圏自治体による財政支援の実績がある。EGO は政府予算を受け取っていない。

5. そのほか確認事項

- a.) EGO は鉄道運行事業者の役割だけでなく、鉄道インフラマネージャーの役割も担っている。
- b.) トンネルの防災（火災対策）の策定に係る法令は、米国 NFPA 130 に基づいている。
- c.) アンカラメトロの運行管理システムは、CBTC による GOA2、および軌道回路型の信号システムを用いた GOA1 である。
- d.) アンカラメトロの 1 日平均乗降客数は 60 万人程度。
- e.) 乗客用の安全教育（安全パンフレット等）は実施されていないが、今後実施を考えている。
- f.) 車両の保守作業は、走行距離ベースで実施している。



出典：調査団

図 5-12 EGO 視察（左：運行管理センター：右：車庫）

(2) メトロイスタンブールのヒアリング結果

2024 年 6 月 28 日にメトロイスタンブール M1 号線車庫を訪問し、メトロイスタンブールの現状と災害時対応等および車両整備状況等についてヒアリングした。

1. メトロイスタンブールに送付した質問とその回答

注：下記では必ずしも意図した回答を得ていないが、先方のプレゼンテーションおよび対面ヒアリング結果を合わせると、ほぼ調査団が聴取したい結果を得た。

- a) メトロイスタンブールでは、耐震構造を採用しているか？
→ イスタンブール大都市圏自治体が設計と施工を担当している。
- b) 災害対応設備を持っているか。また導入計画はあるか？
→ 持っていない（注：後述するメトロイスタンブールのプレゼン資料のように組織として対応しているが、特定のハードウェアとしては持っていない）
- c) 地震計・雨量計・レール温度計は持っているか。また導入計画はあるか？
→ メトロイスタンブールとしては所有していない（注：大都市圏自治体としては所有）。
- d) メトロイスタンブールの災害対応職員数は？
→ 安全直結業務には 1,500 人が従事している。
- e) 地震または大雨時に、誰が鉄道運行停止を判断するのか？
→ 緊急事態対策危機管理庁 AFAD, イスタンブール大都市圏自治体の組織である災害調整センター AKOM, メトロイスタンブール緊急管理担当および地下鉄指令所が判断している。
- f) 自然災害の場所・規模等のリストを日本側に提供してほしい。
→ ケーブルカーと海岸沿いの駅及び路線で監視している。（具体的リストについては提供いただけなかった）
- g) 自然災害対応に対する政府補助はあるか？
→ イスタンブール大都市圏自治体の予算で実施している。
- h) 地震時の鉄道設備復旧に対する政府補助はあるか？
→ イスタンブール大都市圏自治体の予算で実施する。
- i) 自然災害を想定した設備監視システムを持っているか？
→ イスタンブール大都市圏自治体全体として監視システム導入を計画している。
- j) 自然災害復旧を実施する業者との契約や行程管理はどうなっているか？
→ イスタンブール大都市圏自治体が設計・施行する。
- k) メトロイスタンブールと政府との関係はどうなっているのか？
→ AFAD が政府を代表している。
- l) 自然災害復旧時の設計・施工に用いる設計標準はあるか？
→ イスタンブール大都市圏自治体が設計と施工を実施する。
- m) メトロイスタンブールと AFAD との関係は？
→ 毎月打合せを実施しており、6 か月ごとに訓練を実施している。
- n) 自然災害後の復旧費用をメトロイスタンブール外部から工面する方策はあるか？
→ 被害評価はメトロイスタンブールとイスタンブール大都市圏自治体の共同で実施する。
- o) 自然災害後の構造物状態を監視するシステムはあるか？
→ そのようなシステムは持っていない

2. メトロイスタンブールのヒアリング結果

地震に対応するセンサーと、運行停止・再開の仕組み

- 1999 年のマルマラ地震発生時には全線の運行を止めて、全線の設備を 6 時間かけて人間がチェックした。当時はセンサー類を設置していなかった。
- イスタンブール市内において、都市ガスと電気の供給は地震発生時に自動で止めている。地下

鉄も列車運行自動停止システムを入れようとしている。

- ・ 自然災害に関しては、事前検討したシナリオに沿って必要なセンサーを配置している。
- ・ イスタンブール大都市圏自治体として気象センサーを持っており、鉄道だけでなく他の用途にも使っている。センサー設置費用はイスタンブール大都市圏自治体が出す。センサー類は技術標準に基づいて選定し、設置している。MGM のデータは使っていない。
- ・ 将来計画では、50 か所にセンサー、地震計、雨量計を付けようとしている。
- ・ センサシステムの技術標準としては顧問の博士が良く知っており、TCDD も使っている基準がある。具体的なセンサー・導入箇所・数量はまだ確定していないが、いくつかは決まっている。ある程度は JST に対しても情報を公開できる。
- ・ センサシステム設置については、UHDGM の監査は受けない。イスタンブール大都市圏自治体が許可する権限を持っている。TCDD が運行するマルマレイ線と空港連絡する M11 線は運輸省が見ているが、他の路線はイスタンブール大都市圏自治体が所有している。
- ・ 地震対応計画に対して、モノレールは 4 センサーを持っており、自分で計画を立ててデータ収集と解析を実施している。
- ・ モノレールにおいて列車が駅間に止まった場合は、EU 標準にしたがって低速で進行し、駅にたどり着かなかった場合は運転士が旅客を誘導する。

b) 災害発生時の対応と復旧

- ・ AFAD が提供する 23 のサービスの一つに災害でのダメージ判定がある。TCDD は自分の線路を、高速道路運行会社は高速道路を自力で確認している。実態としては AFAD と事業者が一緒に作業しているところもあるかと思われる。
- ・ 自然災害の復興は原則としてイスタンブール大都市圏自治体が費用を出し、作業する。長期を要する場合には、政府が出てくる。

c) 日本の防災センサシステムおよびフィールド試験構想

- ・ 調査団が紹介したセンサシステムの MTBF についてメトロイスタンブールから質問があり、調査団からはシステムの防塵防滴規格は IPX65、5 年製品寿命でハードウェア的には長寿命を考慮しているが、MTBF としての数字は無いと回答した。

3. メトロイスタンブールプレゼン資料抜粋

メトロイスタンブールでは人的なものも含めて 10 種類の緊急事態を想定している（図 5-13）。具体的には、地震・津波、洪水、火災、産業事故（有毒ガス発生等）、交通事故、地滑り、その他の気象災害、移民と人口の動き、伝染病、その他である



出典:メトロイスタンブール資料

図 5-13 メトロイスタンブールが想定する緊急事態（自然災害以外も含む）

Our Operational Duties In a Disaster And Emergency In Istanbul

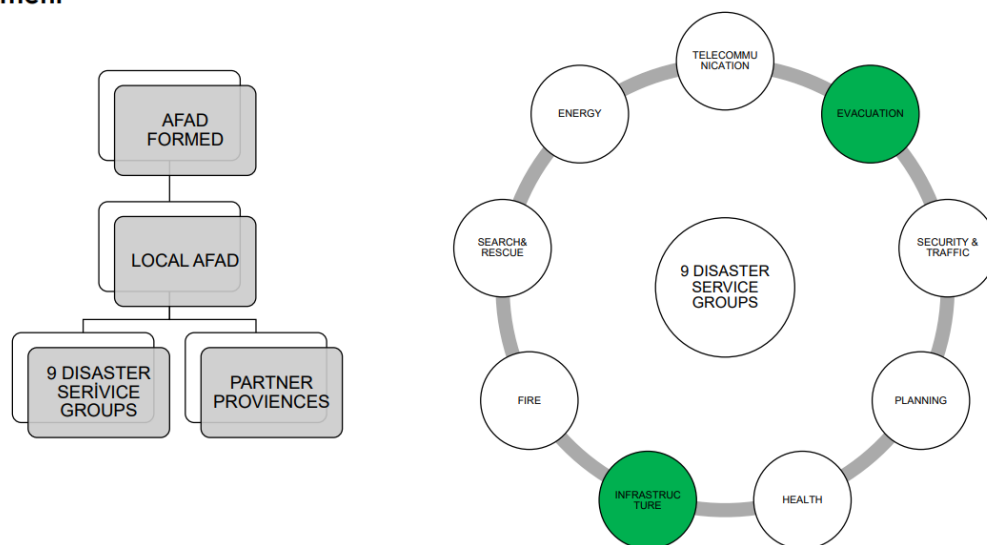


出典:メトロイスタンブール資料

図 5-14 AFAD・AKOM・MI の関係

政府機関である AFAD と、イスタンブール大都市圏自治体の組織である災害調整センター AKOM、そしてメトロイスタンブールの三階層が協力して事態に対処する枠組みとなっている（図 5-14）。

Roles of operators in a disaster situation compared with local governments and the national government

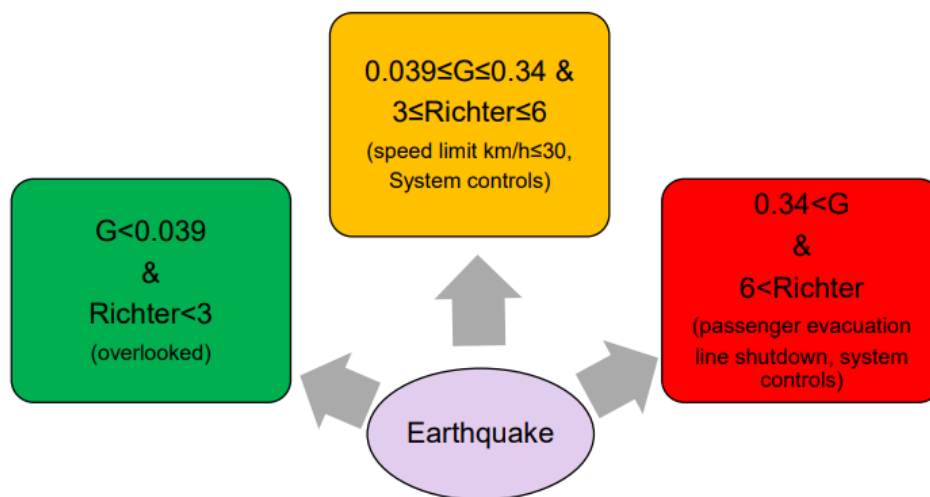


出典:メトロイスタンブール資料

図 5-15 災害発生時の政府・地方自治体の役割

AFAD は、政府 AFAD の下部組織である地方 AFAD が持つ 9 災害対応部と、大都市圏自治体（または地方自治体）とが協力して災害に対応する。

9 災害対応部はそれぞれ関連する組織が参加し、避難、保安・交通、計画、健康、インフラストラクチャー、火災、捜索・救急、エネルギー、通信の担務が割り当てられている。メトロイスタンブールは避難及びインフラストラクチャー部が対応する。



出典:メトロイスタンブール資料

図 5-16 メトロイスタンブールにおける地震発生時の運転規制

地震発生時には、観測された規模（リヒタースケール）に応じて、1)監視、2)30km/h 以下の速度制限、3)乗客避難・運行停止の 3 段階で対応することが規定されている。

4. 車両基地視察

1988 年の開業以来 18 車種、300 両以上を管理しており、形式に応じて時間基準管理と距離基準管理を使い分けている。空調装置搭載等の改造工事も自主的に設計・施工している。

5. R&D センター視察

MI では車両基地内に設けられた R&D センターにおいて、新型車両の設計製造から車両ブレーキ検査装置、駅旅客案内装置、車両基地内進路設定装置、車輪レール潤滑剤自動塗布装置、移動剛体架線と幅広い鉄道機材を自主開発している。設計された車両は 16 両が走行中で、新設計車両を 34 両製造予定である。

(3) TCDD と都市鉄道の比較

上記ヒアリング結果から、トルコ国鉄 TCDD とアンカラ・イスタンブール都市鉄道とを防災体制・対応体制の見地から比較した。

アンカラメトロ・メトロイスタンブールといった都市鉄道は、大都市圏自治体の一組織として、国及び大都市圏自治体の防災体制に組み込まれて役割分担が定められており、災害の規模と内容に応じた防災対応が可能である。

これに対して、TCDD は国レベルの防災体制の外側にあり、災害の検知から復旧まで自力での対処を求められている。

表 5-4 TCDD と都市鉄道との防災・対応体制の比較

項目	TCDD	都市鉄道
経営形態	・ インフラ会社と運行事業者が別の上下分離(EU 基準)	・ インフラ会社と運行事業者が一体
監督官庁	・ 運輸インフラ省サービス規制総局(UHDGM)	・ アンカラ・イスタンブール大都市圏自治体
事故調査主体	・ 運輸調査センター(UEIM) ただし、UEIM 要員は TCDD から出向	・ アンカラ・イスタンブール大都市圏自治体
安全基準	・ TSI(欧州相互運用性技術基準)と UHDG 発行の安全基準(トルコ国内のみ適用)	・ 独自制定(UHDGM に報告はおこなっている)
災害発生時	・ 自力で救援	・ AFAD および AKOM と連携 ・ 被災中や被災後の対応(救助及びがれき除去)は、AFAD や大都市圏自治体が担当。設備点検も AFAD 担当
災害復旧費用	・ 自力で復旧、MOT から追加予算割り当て ・ 大規模災害時には、国家非常事態宣言に基づいた国家予算の割り当て例あり。	・ 大都市圏自治体が費用負担。 ・ 大規模の場合は政府援助を想定(まだ実例は無い)

項目	TCDD	都市鉄道
地震への対応	- 自力に対応 - 高速鉄道にセンサーはあるが有効活用していない - MGM(気象庁)データは使用していない	- アンカラ設備は M9 地震対応。センサー等は予算制約で不可 - イスタンブールは地震後徒歩点検の経験あり。ガスと電気の地震自動停止システムがあり、鉄道の自動停止検討中
洪水への対応	- 自力に対応 - MGM(気象庁)および DSI(水利庁)データは使用していない - 脱線等災害から事故に至った場合は UEIM が調査、裁判に至った例もある	- MGM(気象庁)データは使用していない - イスタンブールは自然災害シナリオ作成し、必要な気象センサー準備。センサー費用は大都市自治体負担で鉄道以外もデータを使用。 - アンカラは換気口止水対策等を実施

出典:ヒアリングおよび資料を基に調査団がまとめた

5.4 法令・規定整備にかかる課題

トルコにおける防災行政の一元的な実施機関は AFAD であり、防災・減災に関して国レベルでは TARAP、県レベルの防災・減災計画である IRAP が存在する。また、これらに加えて、復興の方向性を示す TASIP が 2023 年 1 月に発表された。

日本では災害対策基本法に基づき、国のみならず県、市町村による地域防災計画の策定が義務付けられている。前述のとおり、トルコでは自治体法 53 条に火災や災害時の応急対応の条項があり、対応計画の策定および実施について規定されている。この条文は予防の観点での防災・減災のための計画策定を排除するものではないと考えられるが、詳細計画策定調査を通じたヒアリングや自治体が公表している情報からは、自治体が独自に策定した予防のための減災計画に加え、応急対応にかかる計画も確認できなかった。

自治体の戦略計画やパフォーマンス・プログラムにおける施策内容を見る限り、防災・減災に関する施策は都市改良や消防部門による啓発活動、防災訓練および発災後の対応が行われている程度となっており、予算規模をみても限定的となっている。

そうした中、現状では自治体の予防面の防災・減災の取組の根拠となっているのは IRAP であり、その特徴として災害種毎のハザード分析を重視している印象がある。特に IRAP の本質的な課題として、多くのステークホルダーを巻き込み広範かつ多数の施策が計画として掲げられているが、法的な拘束力を伴わないため、予算的な裏付けが無く実施が停滞している点がある。また、自治体の防災・減災計画の策定や実施を中央主導で行うのは非効率であり、将来的には自治体主導による実施を義務付ける法律整備、および計画策定を可能とする自治体の能力強化に向けた取組が必要となる。

仙台防災枠組の 4 つの優先行動に鑑みると、IRAP の整備により災害ハザード・リスクの把握にかかる取組があることから、仙台防災枠組の「①災害リスクの理解について」は一定程度の進捗があると見られる一方、特に「②災害リスク管理のための災害リスクの強化」、「③レジリエンスのための災害リスク軽減のための投資」、および「④効果的な対応のための災害準備の強化と回復・復旧・復興に向けた「より良い復興」」については今後の課題となっている。

他方で、2023 年 2 月の震災への復興状況を見ると、被害状況が異なるので一概には比較できないが、大都市自治体（例：カフラマンマラシュ）と一般自治体（例：アドゥヤマン）との間では組織・体制面のキャパシティの差も指摘されている。

防災・減災の重要性の高まりは、2023 年 10 月に公表された第 12 次国家戦略計画からも窺うことができる。同計画における国の重点 5 分野（①安定した強い経済、②競争力のある生産性と製造業、③質の高い人材と強い社会、④災害に強い生活領域・持続可能な環境、⑤法による統治、グッドガバナンス）は第 11 次計画の構成と同様であるが、④については従来の「住みやすい街・持続的な環境」から「災害に強い生活領域・持続的な環境」と修正が加えられた。また、従来に第 11 次国家戦略計画では防災・減災関連の 8 つの項目のうち、Urban transformation が 4 番目、Disaster Management は最後の 8 番目に記載されていたが、第 12 次計画では Disaster management が同項目の筆頭、Urban transformation が 2 番目に記述されているなど（8 項目の内容は同じ）、2023 年 2 月の震災を踏まえて、防災・減災分野の重要性が高まっていることを示していると考えられる。

同計画における防災・減災分野にかかる記載内容を見ると、第 12 次計画では、震災を踏まえて、大規模災害や減災のための取組の強化、法律体系の改正、都市やインフラの包括的な強靱性の強化、IRAP の改定、災害管理能力評価、被災地区の復興などが追記ないしは強調されている点に注目する必要がある。これらの項目が具体的にどのような取組を想定しているのか、AFAD の新たな戦略計画等を確認する必要があるが、AFAD や MoEUCC 等の防災関連省庁の方向性の変化や重点施策を注視して、自治体による防災・減災施策・事業実現に向けた予算確保の努力も求められる。

このように、トルコにおける国レベルでの防災行政は AFAD を中心として、法制度・組織共に着実に整備されてきている。アンカラメトロ・メトロイスタンブールといった都市鉄道は、大都市圏自治体の一組織として、国及び大都市圏自治体の防災体制に組み込まれて役割分担が定められており、災害の規模と内容に応じた防災対応が可能である。

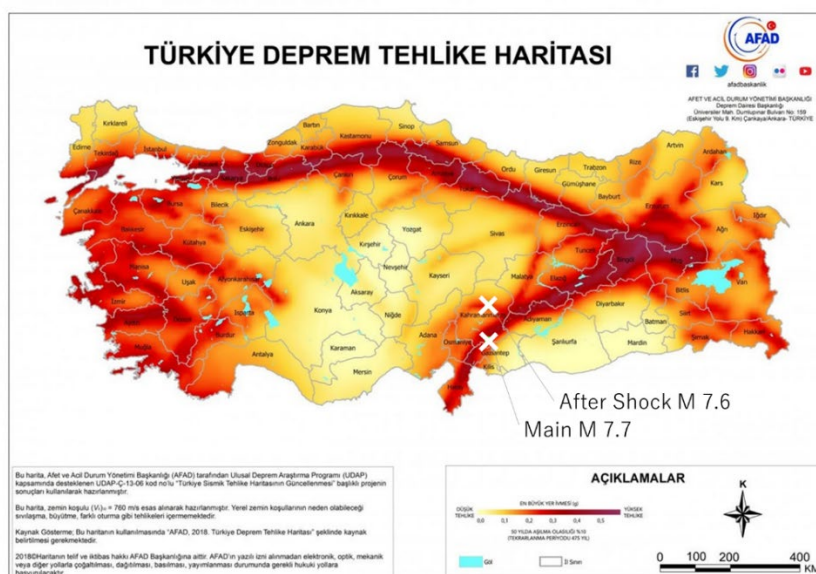
これに対して、TCDD は国レベルの防災体制の外側にあり、災害の検知から復旧まで自力での対処を求められている。5.4.2 (2)で記述したように、トルコ・シリア地震のような大災害では、政府の緊急事態宣言に基づいた国家予算の MOT 経由 TCDD への割り当てが講じられ、TCDD は復旧工事が可能となった。しかし、災害の予防・検知は TCDD が自力で対処している。

第6章 復旧の状況と現地における課題

6.1 復旧状況の把握

6.1.1 2023 年トルコ・シリア地震の概要

2023 年 2 月 6 日 4 時 17 分にガジアンテプ県とカフラマンマラシュ県の県境（北緯：37.288 度、東経 37.043 度 カフラマンマラシュの南南西 30km）深さ 8.6km を震源とするマグニチュード 7.7 の地震が発生した（震源の深さとマグニチュードは AFAD による）。続いて、9 時間後の 13 時 24 分にカフラマンマラシュ県エキネジュの南南東（北緯：38.089 度、東経 37.239 度 カフラマンマラシュの北東 60km）深さ 7.0km を震源とするマグニチュード 7.6 の地震（余震）が発生した（同上）。地震による死者は約 51,000 人、負傷者約 107,000 人となる大きな被害が出た。トルコ周辺ではユーラシア、アナトリア、アフリカ、アラビアの 4 つのプレートがぶつかり合っているが、今回の地震ではアナトリアプレートとアラビアプレートの境界である東アナトリア断層で最大 11m の横ずれが発生し、地上にも最大 4m あまりの横ずれが到達した。本震、余震ともに 1G (9.8m/s²) を超える最大加速度や、1m/s を超える最大速度が観測され、甚大な被害をもたらした。^{21,22,23,24}



出典：AFAD の地震ハザードマップに調査団が加筆

図 6-1 トルコ・シリア地震の震源

²¹ Preliminary Reconnaissance report on February 6, 2023, Pazanık and Elbistan Mw=7.6, Kaharamanmaraş Türkiye Earthquakes, Edited by: Kemal Önder Çetin, Makblule İlgaç, Gizem Can and Elife Çakır, February 20, 2023, REPORT NO: METU/EERC 2023-01, MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY

²² P. Martin. Mai et al : The Destructive Earthquake Doublet of 6 of February 2023 in South-Central Türkiye and Northwestern Syria: Initial Observations and Analyses, The Seismic Record, A Journal of the Seismological Society of America, May 2023

²³ Report on Turkey-Syria Earthquakes, 6 September 2023, Asian Disaster Reduction Center

²⁴ 第 52 回国土地理院報告会（2023 年 6 月 1 日）資料

交通インフラへの被害としては、マラティアーイスケンデルン間の鉄道路線の寸断、イスケンデルン港における液状化や、被災地域の道路網に対する被害等があげられる。中でも鉄道はトンネルや橋梁等の構造物が破壊されたほか、液状化等による路盤の変形、一部箇所における車両脱線等の被害が確認された。

鉄道への被害は、地震動による破壊や脱線のほか、液状化によるもの、地割れや地面の変形によるもの、落石や斜面災害によるものがあげられる。

鉄道車両の脱線は、旅客用車両 1 編成、機関車 4 両、貨物用車両 30 両に上り、いずれも TCDD Transport の所有する車両であった。また、工事中であった高速鉄道路線にも被害が出ていることが確認された。鉄道網への地震被害を下表（表 6-1）にまとめた。

TCDD は被災地域において、アダナーハタイーオスマニエーガジアンテップーカフラマンマラシューマラティアー間、1,275 km の営業線を有している。特にシバスーマラティアーイスケンデルン間は、トルコにおける物資および鉱物資源の貨物輸送路として重要な役目担っている。

TCDD の統計によれば、現在不通となっている区間の中心に位置する、マラティアーフェヴジパシャ駅間は 2022 年において、18.8 億トン km の貨物輸送実績を示しており、区間別にみるとトルコ国内で最も高い値を示している。路線の休止中はマラティアーからシヴァス、カイセリを経由して貨物列車の運転を行っており、運転距離は約 500km 増加している。



出典: Ömer AYDAN, Reşat ULUSAY “A QUICK REPORT ON PAZARCIK AND EKİNOZÜ EARTHQUAKES (TÜRKİYE) OF FEBRUARY 6, 2023”

図 6-2 地震による脱線（左・ギョルバシュ駅、右・フェヴジパシャ駅）



出典: TCDD 資料

図 6-3 フェヴジパシャ駅付近における落石・崩落による被害

表 6-1 本震災による鉄道網への被害

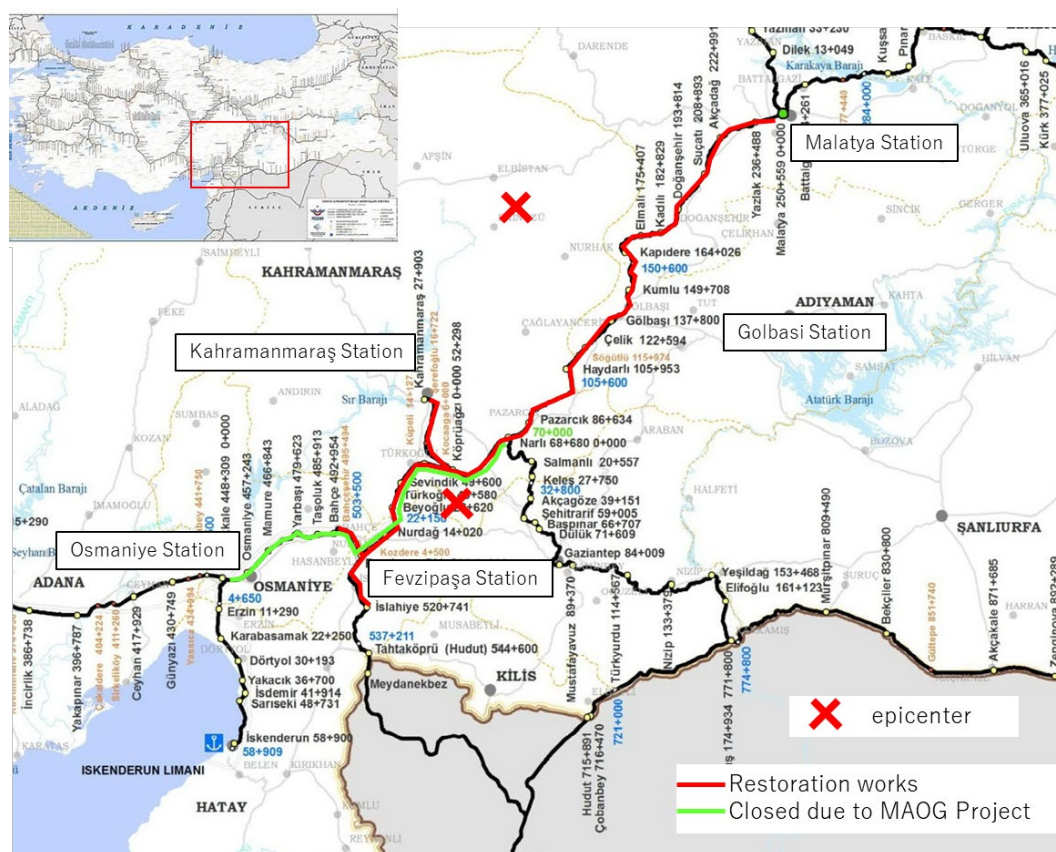
項目	被害状況	金額(TL)
土木構造物への被害 (在来線 8 区間)	トンネルの変形 斜面災害 上部工被害 電機品への損傷	17,400 百万 TL
車両への被害	脱線による破損	19.6 百万 TL
建設中の高規格路線への被害	建設中のトンネルへの被害	260 百万 TL

出典: 大統領府戦略予算局 “2023 KAHRAMANMARAS AND HATAY EARTHQUAKES REPORT”

6.1.2 被災により運休している鉄道区間

地震の影響があった地域全体の鉄道の延長は 1275km であった。その中で特に被害の大きいマラティアーナルルーイスケンデルン回廊は、トルコ南東部と東部の鉱山からイスケンデルン港への重要な貨物輸送ルートであり、その輸送量は年間 800 万トンから 1,000 万トンに達していた。

被災線区のうち、ナルルーガジアンテプーニジブ間、イスケンデルーオスマニエーバチェ間は震災後の 3 週間にかけて軌道補修を行い、運転を再開している。フェヴジパシャ・マラティア間 250km、ケブラグズ・カフラマンマラシュ 28km、フェヴジパシャ・バチェ 18km、フェヴジパシャ・イスラヒエ 9km 地震発生 1 年後の 2024 年 3 月時点においても復旧工事の区間となっている。ナルルーフェヴジパシャ・バチェの区間は、メルシンーアダナーオスマニエーガズィアンテプ (MAOG) 高速鉄道プロジェクトの工事区間と重なっており、運休の理由は 2024 年 3 月現在高速鉄道プロジェクトとなっている。



出典: TCDD 資料に震源を加筆した

図 6-4 震災による運行休止中の路線

フェヴジパシャ・マラティア間 250km は 1935 年に開通したフェヴジパシャ・ディヤルバクル 504km の半分にあたる。ディヤルバクル近郊で採掘された銅鉱石の輸送を目的として建設された路線であり、1994 年に電化されている。旅客列車は 1 日に 1 往復のみで貨物列車が主体の路線である。地震で大きな被害を受けたマラティア・ナルル線（全長 182km）の長期的な計画には高速化の構想もある（2024-2028 TCDD 戦略計画(2022)）。

全線を休止して路盤から軌道を再構築している様子が観察されたが、これに関連した改良を兼ねているものと考えられる。

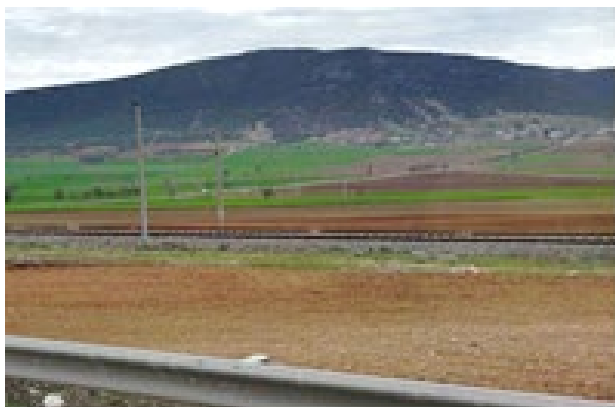


図 6-5 軌道を再敷設済の区間

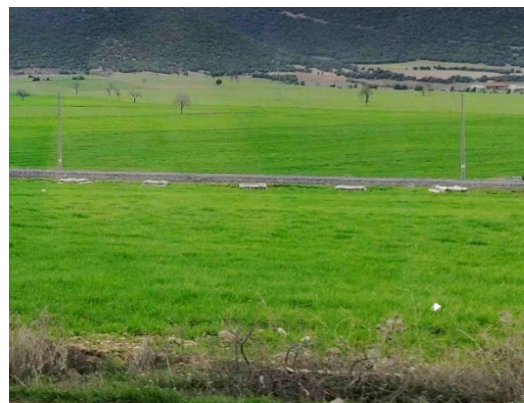


図 6-6 再敷設のマクラギ配置前とみられる様子



図 6-7 軌道が撤去された踏切隣接部



図 6-8 地震によるひび割れの残る建物

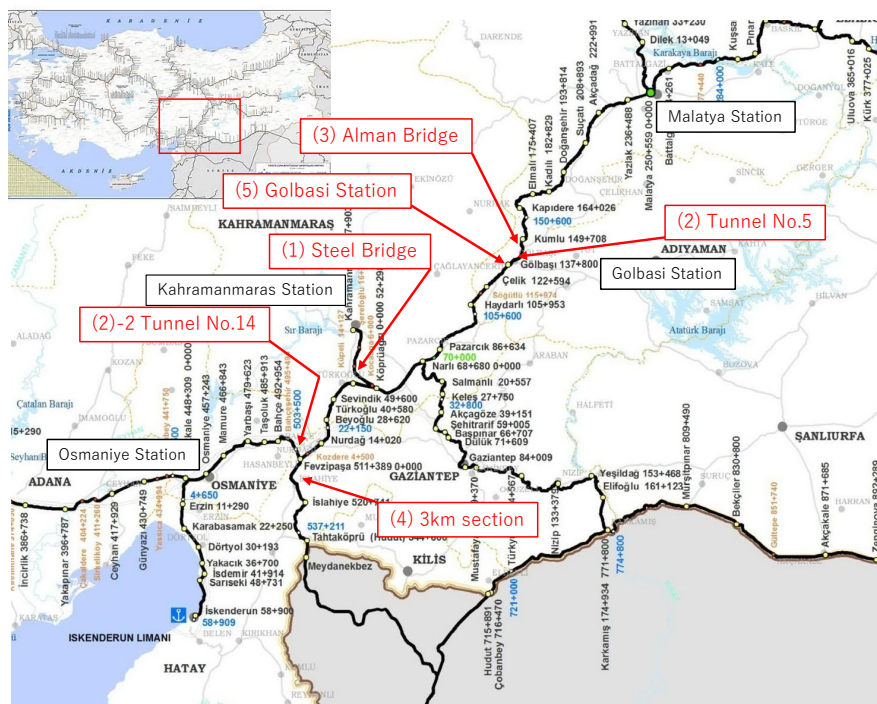
出典：調査団撮影

6.1.3 2023 年 5 月調査において復旧に向けた提案を行った被災鉄道構造物

2023 年 2 月 6 日のトルコ共和国を震源とする地震による甚大な被害に対し、JICA は国際緊急援助隊・専門家チームを 3 月に派遣した。同チームの帰国報告では鉄道橋りょうやトンネル等の復旧にかかる技術支援の可能性があることが提言された。この提言を受け、国土交通省鉄道局と JICA は TCDD が復旧に難しさを感じている特定箇所に対し、震災復旧の知見を有する JR 東日本に対し復旧方針に係わるコンサルテーションを要請した。この要請を受けて JR 東日本では、JICA を団長とする調査団として 2023 年 4 月 30 日～5 月 9 日（現地調査 3 日間を含む）に同行した（2023 年 5 月調査）。

この 2023 年 5 月調査までに、震災から約 3 か月が経過しており、TCDD による復旧方針は概ね固まり一部の被災箇所ではすでに復旧工事が着手されていた。そこで、対象とした構造物は図 6-9 のとおり、TCDD が復旧困難と考えており JR 東日本の専門家から復旧方針についてアドバイスを望んでいる箇所 6 現場 5 種類の構造物とした。

2023 年 5 月調査において、これらの構造物の被害状況を調査し、原因の推定と復旧案の提案を行った（表 6-2）。



出典：TCDD 資料に調査団が加筆

図 6-9 調査対象箇所

表 6-2 2023 年 5 月調査の調査構造物の被害原因と復旧方策提案内容

構造物		被害状況	原因	提案した復旧案
鋼橋		線路直角方向に桁が移動し、沓が損傷。可動側沓座に端横桁が接触し、端横桁が破断	地震動により桁に上揚力が生じ、沓のサイドブロックを超えて桁が移動	桁の主構造に大きな損傷が無い場合、一部の部材交換し元位置まで移動
トンネル		トンネルクラウンに連続的に圧迫発生。坑口では石積のひび割れ・ずれ・空隙およびアーチ部のずれ	地震による地山の変形、クラウン部の覆工背面に空洞	剥落防止工とトンネル天端へ裏込注入。石積アーチに剥落防止工とセメント注入併用
石橋		橋脚のひび割れ、断面の一部が欠け落ちて支持断面が縮小	アーチ基部に鉛直および偏心軸力が作用し、無筋構造部にひび割れが発生。	無筋コンクリート柱脚RC巻き立て

構造物		被害状況	原因	提案した復旧案
土 構 造 物		大規模な岩盤崩壊	降雨や融雪水による岩盤のゆるみ、細片化で発生した亀裂の開口が地震動により進行	落石防護設備等のハード対策のみではなく、ソフト対策も併用した対策方法を提案
土 構 造		路盤沈下にもなう道床の低下、まくら木下の空洞、軌道張り出し	液状化の発生に伴う側方流動	シートパイルによる締め切り、薬液注入による地盤の密実化

出典：2023 年 5 月調査結果をもとに調査団作成

6.1.4 2023 年 5 月調査で提案を行った被災鉄道構造物の復旧状況

各構造物について 2023 年 5 月調査における調査概要および提案と 2024 年 2 月 26 日、27 日に JST が現地調査を行った現地の復旧状況調査（「今回調査」という）について報告する。

a) ギョルバシュ駅付近（Gölbaşı Sta.）

ギョルバシュ駅周辺に複数の湖があり、2023 年 5 月調査での TCDD 担当者の説明では、地下水位高さは駅周辺では地表面から 2m 程度下とのことである。今回調査では、晴天であるにも関わらず道路脇の斜面から湖に向かって幾筋もの地表水の筋が観察され、地下水位が非常に高いことが想像された。

2023 年 5 月調査ではギョルバシュ駅周辺の被害は、路盤沈下にもなう道床の低下、まくら木下の空洞が確認された。駅の終点方では軌道が大きく変形し張出している箇所を複数で確認している。

ギョルバシュ駅周辺の被災原因は、駅周辺の地下水位が高いこと、液状化の発生が確認されていることと、道路側の構造物が沈下し鉄道側に変位することで軌道が大きく湾曲している現場状況から、液状化の発生にともない側方流動が発生したと考えられている。

2023 年 5 月調査での復旧案では、路盤沈下の復旧は被災距離が長いため、予算と工期を勘案しながら優先順位を付けることで、復旧の仕様を選定する提案をしている。また、液状化にともない側方流動の対策は、盛土の両側をシートパイル締め切り、頭部をタイロッドで連結して固定する方法と盛土下の砂質土に対して薬液を動的に割裂注入（「脈状地盤改良工法」）することで、地盤を密実化させる工法を提案している。

現地調査時点においてはギョルバシュ駅周辺の軌道については、軌道が撤去されているのみで、目立った復旧工事は行われていなかった。駅の終点方で大きく変形した軌道部分が保存されていた（図 6-10）。

2025 年 1 月末にはギョルバシュ駅の工事の完了が報道された²⁵。報道の写真からは路盤をコンク

²⁵ <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/depremlerde-hasar-goren-golbasindaki-demir-yolu-hattinin-onariminda-sona-gelindi/3465189> (2025 年 4 月 14 日 閲覧)

リートに置換えている様子が見える（図 6-11）。また、路床についても置換えを行っている様子が見える（図 6-12）。



出典：調査団撮影

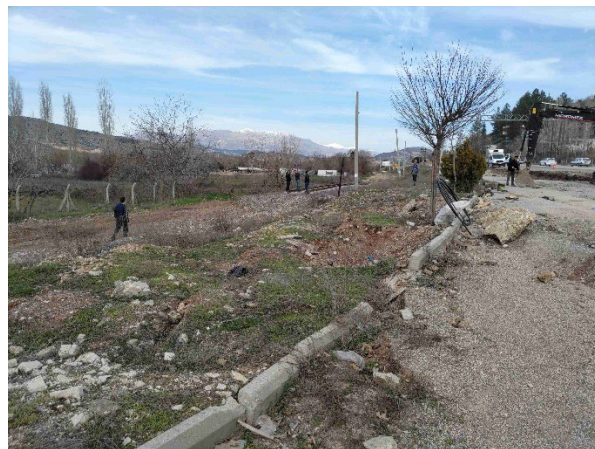


図 6-10 ギョルバシュ駅付近の大きく変形した軌道



出典：アナトリア通信

図 6-11 ギョルバシュ駅マラティア方の路盤の復旧状況



出典：アナトリア通信

図 6-12 ギョルバシュ駅中心付近の路床置換えとみられる様子

b) No.3 トンネル (Tunnel No.3)

No.3 トンネルの復旧案は2023年5月調査では具体的に示されなかった。被害状況については、トンネル中間部において覆工が崩落し土砂流入、トンネル終点方では斜面が地すべりの兆候を示していた。現地の流入土砂や崩壊箇所直上のボーリングコアを採取した試料の観察などから、岩の風化がトンネルの底部まで進んでおり地山の状況はかなり悪い状態であることが推定された。

今回調査の時点ではトンネル復旧工事が完了した直後であった。地震の被害を受けていなかったトンネルの起点側の部分は覆工の無い素掘りで、トンネル中間部は NATM により復旧を行っていた(図 6-13 から図 6-16)。



図 6-13 NATM 区間（終点方に向かって）

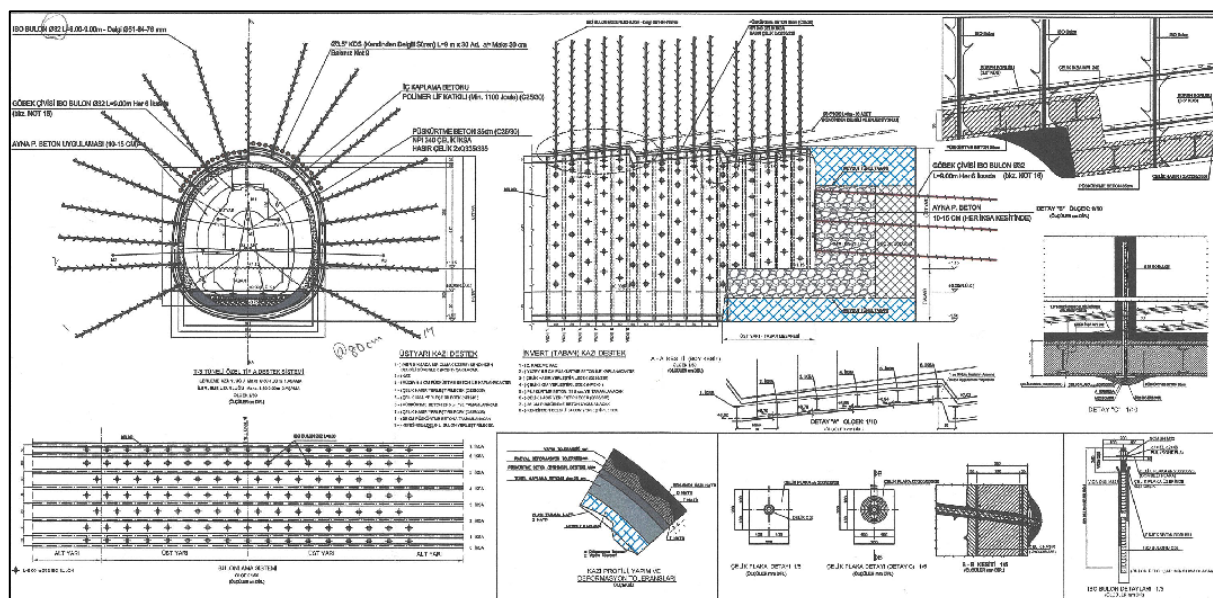


図 6-14 NATM 区間と開削区間接続部（手前が NATM）



図 6-15 終点方開削トンネル坑口

出典：調査団撮影



出典：TCDD 資料

図 6-16 No.3 トンネル NATM 部分の図面

NATM によるトンネル断面は、元のトンネル断面を包含している。掘削には上部の崩落を防ぐためにフォアポーリングを行っているが、切羽の上部にフォアポーリングを行うため、4.5m 間隔にポーリング用の孔の掘削面を設けている。また、掘削面の後方は鋼棒が挿入できるように掘削を行う必要があるため、線路方向に 4.5m 間隔で断面が拡大と縮小を繰り返し、6 種類の高さの支保工を必要としている。トンネル終点方は開削工法により躯体を構築していたが、NATM 区間よりさらに大きな断面となっていた。

トンネル復旧の基本設計は入札図書に含まれており、施工開始後における施工図も同一の設計者により現地に合わせて修正がなされた。

c) アルマン橋 (Alman Bridge)

2023 年 5 月調査によれば、本橋りょうの軌道部に軌道のずれはなく、桁部、アーチ部を構成する部材についても、一部にかぶりの剥離、剥落が見られたものの概ね健全であり、適切に維持管理することにより、今後も供用に耐えられるものと推定された。

一方で、アーチ橋梁の無筋コンクリート造の基礎構造柱脚部の損傷は極めて甚大であった。アーチ基部下の基礎構造柱脚部に、幅の広い縦ひび割れや斜めひび割れが発生しており、断面の一部が欠け落ち支持断面が縮小することで鉛直支持機能が著しく低下したのも見られた。

また、鉛直支持機能の低下までには至っていないものの、無筋部分の柱脚部に大きな残留ひび割れが確認されたものもあった。損傷の特徴は、線路方向の支保工基礎部が設置されている面の損傷が軽微であり、線路直交方向の柱頭部の面に大規模な断面欠損や断面欠損につながるひび割れが見られ、鉛直支持機能の低下が観察された。

本橋梁は地震により大きな水平・鉛直応答を受け、アーチ基部に鉛直および偏心軸力が作用することにより、無筋構造の基礎構造柱脚部の頂部にひび割れが発生し損傷した。しかしながら、柱頭部の支保工基礎部が RC 造であったことで、線路方向の面の損傷が抑制されたために、鉛直支持機能が一定程度保持されたことにより、崩壊につながらなかったものと推定された。

アーチ橋梁の全ての基礎構造柱脚部において、特に断面が縮小している柱脚は鉛直支持機能の低下は明らかであり早期に機能回復すべきと考え、恒久対策としては Prof. Dr. Alp が報告書で提案している通り、無筋コンクリート柱脚の全て（6 基）に対し RC 巻き立てすることが最も最適であると考えられた。本橋りょうは文化財に指定されているが、トルコの文化庁の許可が降り、2023 年 5 月調査から程なく施工を開始できた。

復旧工事はトルコ側日本側共通の提案である RC 巻き立てが行われていた。コンクリートの打込は圧入により行われたということであるが表面にひび割れの目立つ施工となっている。

橋脚と上部工との連結は行われていないため、上部工の水平変位への対応について検討するように 2023 年 5 月調査時点で助言を行っていたが、トルコ側の検討の結果 RC 巻き立て部に金具を取り付けている。



出典：調査団撮影

図 6-17 橋脚橋梁全体



出典：2023 年 5 月調査資料および調査団撮影

図 6-18 C 橋脚の外観（左：復旧前、右：復旧後）

d) コルゲートトンネルによる落石対策工

2023 年 5 月調査では調査を行っていない範囲であるが、アルマン橋梁からマラティア方に 15km ほど進んだ箇所において大規模な落石対策工が施工されている(図 6-19)。



出典:調査団撮影

図 6-19 コルゲートトンネル全景（160km 付近）

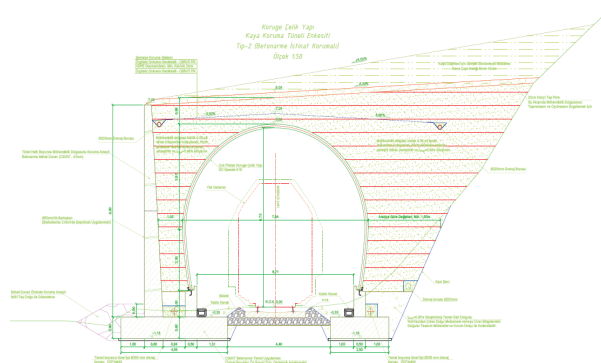
構造は谷側に RC 擁壁を立て、コルゲート板をアーチ状に設置し周りを埋め戻して、上部に保護鉄筋コンクリートを打設し、さらに緩衝材となる砂利を盛る構造である。トルコ側技術者によると 9000J のエネルギーを設計値としているということであるが、詳細については資料を受領出来なかった。コルゲート板は高速道路や高速鉄道の盛土構造物との立体交差に多くの実績がある。TCDD の営業線における落石対策としては、4 年前から施工実績がある（図 6-20）が、その仕様については改良の途上であるようだ。

図 6-21 は次に述べる 3km 区間で使用される図面である。この図には保護コンクリート（ $t=200\text{mm}$ 勾配 5%）と緩衝材となる砂利が記載されているが、砂利は厚さが一定ではなく、山側に向かって 10% の勾配で層厚が増加している。



出典:TCDD

図 6-20 コルゲートトンネルによる落石対策



出典:TCDD

図 6-21 コルゲートトンネルによる落石対策の図面

e) 土構造（3km 区間）

フェヴジパシャからシリア国境付近に南下するイスラヒエ間の約 3km 区間（以下 3km 区間と称す）にある切土斜面は、石灰岩を主体とする地質構造である。3km 区間の切土斜面は急峻であり、岩盤が広く露出している箇所が多く確認できる。落石に対する対策として、線路に近接した急峻な岩盤に対しては覆式落石防護網工、緩やかな斜面には覆式落石防護網に加え転石に対する落石防護柵が設置

されている箇所もあった。

また 3km 区間内にある片切片盛区間の盛土のり肩に亀裂・沈下が発生し谷側に向けてすべりが発生している。3km 区間の切土崩壊箇所の被災原因は、降雨や融雪水により岩盤の風化が進行し細片化する過程で発生した亀裂の開口が大きな地震動により進行し、バランスが崩れて崩壊したと考えた。

2023 年 5 月調査の復旧案については、落石の発生源が広範囲かつ規模が大きいため、恒久対策実施後の運転再開では時間を要することが想定された。このため、応急対策後に運転再開し、その後恒久対策を行う方法を提案した。恒久対策については、ハード対策だけではなく検知警報装置等のソフト対策も併用した対策方法を提案した。ただしソフト対策については、検知装置の設置場所については現地で技術者の高度な判断が必要となることを強調している。

今回調査の時点では、軌道が全て撤去されていること以外に工事は進んでおらず、ボーリング調査を進めているところであった。沿線はトルコの中でも温暖な気候であり植物も多く、風雨の他に植物の根などにより亀裂が拡大している例も多く見られた。このような環境では天候と無関係に落石が発生する可能性も高いため、ソフト対策も有効な手段となりえると考えられる。



図 6-22 3 km区間の軌道撤去状況



図 6-23 植物の根による風化の加速

出典：調査団撮影

今回意見交換などの場を通して TCDD の技術者たちが災害のソフト対策に強い関心を持っていることが感じられた。特に列車の非常停止の仕組みについての質問はあらゆる場面で多くの技術者から質問を受けた。

現地では、場所により様々なタイプの落石があり（図 6-24 および図 6-26）、構造物による対策として主に RC 構造によるボックストンネル、コルゲートトンネル、覆式落石防護網（図 6-25）や防護柵の選定、判断に困っているということであった。対策の選定に必要な斜面管理図が整備されているか質問をしたところ、あるとの回答であったが、実物を確認することは出来なかった。



図 6-24 転石が目立つ斜面



注：粒径はそれほどでもない小さいGの落石の頻度が高いことがわかる。

図 6-25 落石防護網と落石

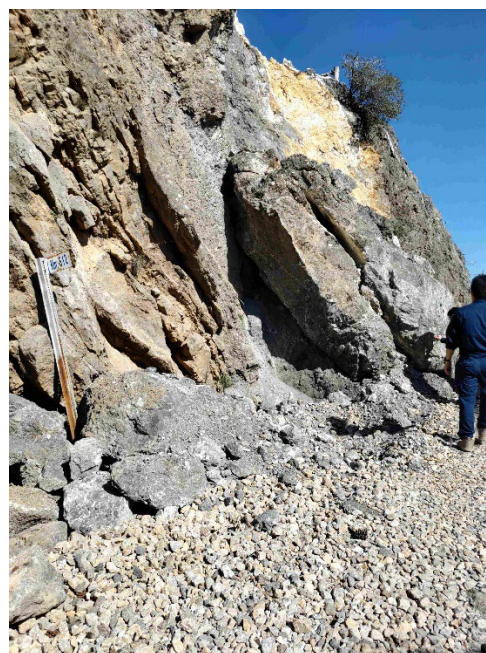


図 6-26 巨大な落石

出典：調査団撮影

f) フェウジパシャ駅南側斜面

3km 区間の北端でフェウジパシャ駅の構内の南西側で南東に面する斜面で斜面崩壊がみられ、土留壁が転倒している様子がわかる（図 6-27）。TCDD によればこれは大規模な地滑りで、フェウジパシャの軌道のある斜面の下の深いところに亀裂があるとみられるとのことであった。

TCDD は斜面に杭を打設し斜面崩壊・地すべりに抵抗する設計を考えているが、当該地は非常に高さのある斜面の上部となっており、施工計画の面で問題があると考えているようであった。



図 6-27 倒壊した土留め壁



図 6-28 路盤の崩壊

出典:調査団撮影



出典:TCDD

図 6-29 発災直後のフェヴジパシャ構内南側の様子

g) スティールブリッジ

スティールブリッジは本調査では調査を行わなかった。現地は河川改修の計画があり、河川当局との協議がまとまってから工事となるとのことである。

6.1.5 2024 年 2 月調査時点における工事の課題

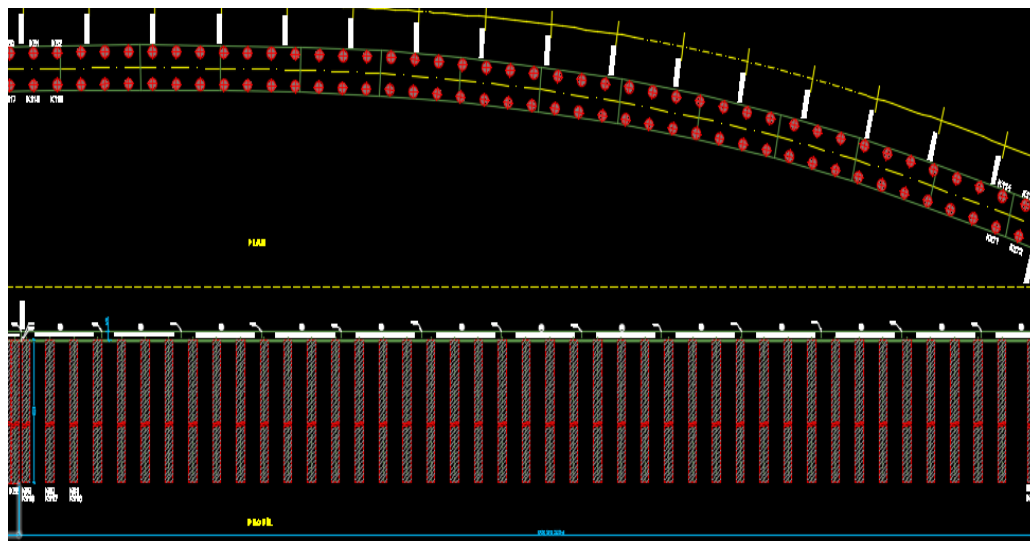
工事は高規格化、安全性向上を目的とした路盤改良工事に重心を移しており、2023 年 5 月調査以降の工事の進捗に伴って新たに発生した技術的な課題は無いとのことであった。

TCDD 側が課題と考えていたのは 3km 区間からフェヴジパシャ構内にかけての路盤の崩壊、地すべり箇所の復旧である。この調査の現地調査時点で設計は行われているということであったが、その施工方法が残された課題であり、施工方法の検討による設計の見直しが必要になる可能性があった。

もう一つの課題は、3km 区間の落石対策の評価と選定であった。3km 区間は地山の風化が著しく進んだ地質となっており、様々な落石のタイプと地山の状態に対応した落石対策のうち、特にロックシェッドの構造の評価と選定が課題であると TCDD は考えていた。

6.1.6 TCDD による工事の課題解決

TCDD による工事の課題解決については TCDD 側に報告を求めたものの回答が無かったが、TCDD が公開した映像によって課題の解決の概要を知ることが出来た。



出典:TCDD

図 6-30 フェヴジパシャ構内の地すべり対策計画



出典: TCDD²⁶

図 6-31 フェヴジパシャ構内の地すべり対策の擁壁

図 6-31 はフェヴジパシャ構内の写真と思われ、写真の右側中ほどに見えている白いコンクリートが擁壁である。地すべり対策として杭基礎の擁壁を検討していたが、方針に変わりなく、設計施工を行ったものと考えられる。谷側は大きな高低差があるため、線路側から小型のくい打ち機で小径の杭を打設したものと考えられる。



出典: TCDD

図 6-32 コルゲートトンネルと採用した落石防護工

落石防護工の構造の選定についてはコルゲートトンネルを基本に採用したようである（図 6-32）。このコルゲートトンネルでは図 6-21 にみられる谷側の擁壁が施工されておらず、補強土と思われる埋戻し材が自立している。図 6-20 の施工と比較するとその仕様は大幅に改良されている。ロック

²⁶<https://www.facebook.com/tcddemiryollari/videos/projemizin-amac%C4%B1-depremde-hasar-g%C3%B6ren-g%C3%B6lba%C5%9F%C4%B1-malatya-istasyonu-aras%C4%B1nda-bulunan/975048300820753/> (2025 年 4 月 14 日 閲覧)

シェッドの山側は表面の風化層を除去し、落石のエネルギーを途中で吸収するよう段切りを行っている。写真の左側では落石防護擁壁と溝工（落石ポケット）になっており、同様に表面の風化層を除去している様に見受けられる。

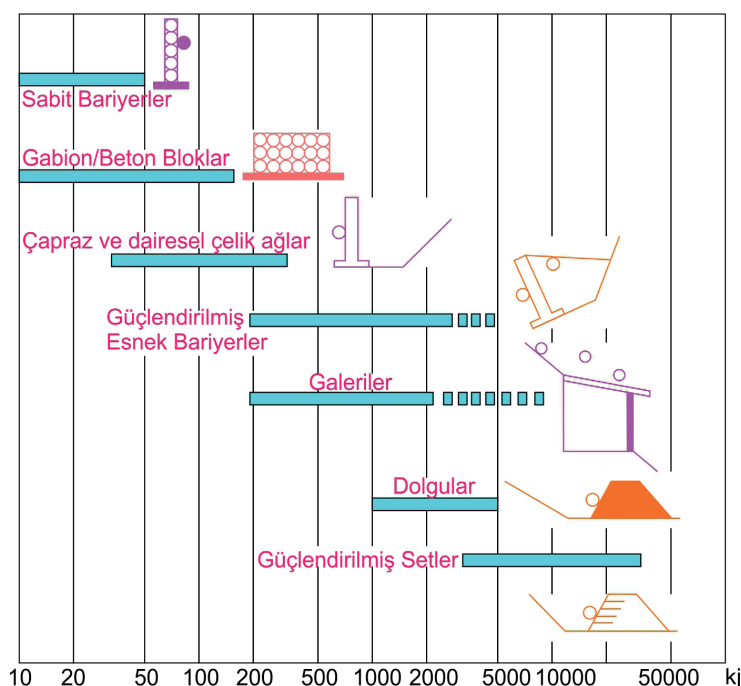
6.1.7 落石対策（ロックシェッド）の構造の選定について

(1) トルコにおける落石対策工

落石はトルコでは頻繁に発生する災害である。1950 年から 2007 年まで世帯の移転につながった災害の件数についてみると 43%が地すべり、土砂崩れが 18%、落石が 9%である。1 件当たりの転居世帯数は多いと考えられるが、災害件数としては 13%である（Ozden ら 2008）。落石災害は地すべり、土砂崩れ、地震に伴って発生することもある。

トルコにおける落石対策は日本と同様の学問体系となっており、落石予防工、落石防護工、落石予防施設、落石防護施設について、調査、対策の選定、設計施工、維持管理について認識を共有していることがわかった（「落石対策便覧」（日本道路協会）、「落石による災害評価のための技術ガイド」（AFAD））。

設計資料等では、さまざまな実験やシミュレーションから多くの設計式等が考案されているが、各設計式等の適用範囲が非常に限られており、落石に関する学問体系そのものは、今後も深度化に取り組むべきもののひとつである。



出典：AFAD “KAYA DÜSMELERİNDEN KAYNAKLI AFETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK TEKNİK KILAVUZ”

図 6-33 落石防護工の適用範囲

(2) ロックシェッドの構造

落石防護施設のひとつであるロックシェッドは日本ではよく見られる施設である。ロックシェッ

ドは RC や鋼構造により建造されるが、様々な対策のうち、最も費用がかかり、最も大規模な対策であるが、急峻な山岳地帯の多い日本では、採用される場合が多い。一方トルコでは、落石防護擁壁や溝工など用地に余裕のある工法が主流であり、最も大規模な施設である。2023 年 2 月の地震で被災した線区はトルコの東部の山岳地帯にあたり、谷沿いの区間ではロックシェッドによる落石防護施設が検討されている。その構造はコルゲート鋼板を用いたものである。

(3) コルゲートトンネルによるロックシェッド

トルコではコルゲートアーチカルバート（コルゲートトンネル）は盛土構造の高速道路や高速鉄道と、道路や河川の交差箇所も多く建設されている。コルゲートアーチは現地で小さな部品から人力を主として組み立てることができ、部材の運搬が容易である。また大型の重機を使用する必要が無く、短期間で施工が可能であるなど利点が多い。特に今回のケースでは山間箇所での狭隘な線路敷での施工には優れている。

しかしながら、コルゲート鋼板自体の耐力は弱く、周囲の土圧や地盤反力が無い場合には構造物として成り立たない。コルゲートアーチカルバートは周辺の埋め戻しを確実に施工することによって非常に大きな荷重に耐えることが出来る合理的な構造になる。

TCDD では落石防護工としてコルゲートトンネル型のロックシェッドを採用している(図 6-20)。カラビュック・ゾングルダク間にはロックシェッドとしてコルゲートトンネル型が設置されている。2019 年に施工され、その後大きな落石の実績は無いとのことであるが、緩衝材となる上部の砂利が水流により流出し、防護工内に砂利がこぼれ出ていた（図 6-34、図 6-35）。

最大の問題は周囲の土圧や地盤ばねが無いことであり、比較的小さな落石により、大きな変形が生じる可能性がある。今回復旧工事においては、落石防護工の谷側には逆 L 擁壁や土留壁が配置された設計となっている。TCDD からコルゲートトンネルの設計計算書を入手することは不可能であったが、簡単な骨組み解析を使用して構造物の変形と落石エネルギーに関して簡易検討を行った。



図 6-34 コルゲートトンネル上部の砂利にできた水みち



図 6-35 砂利のこぼれ出し

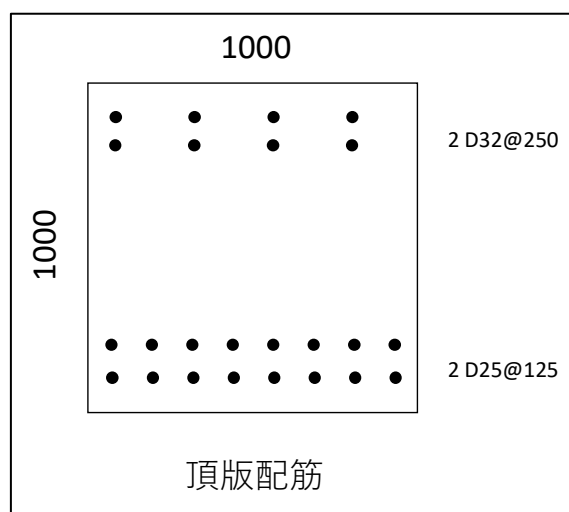
出典：調査団

(4) ロックシェットの構造の比較

ロックシェットの構造として RC ボックスとコルゲートトンネルについて落石エネルギーによる変形の比較を行った。近年事例が増えている EPS を使用した 3 層緩衝構造を緩衝材とした場合も検討ケース加えた。以下に検討用に仮定した構造と荷重ケースについて説明を行う。

- RC ボックスの断面

図 6-36 に RC ボックスの頂版の断面を示す。頂版、壁、底版とも部材の高さを 1m として鉄筋を図 6-36 のように配置した。鉄筋の降伏時点を部材の降伏曲げモーメントとして M_y をもとめ、終局曲げモーメントも同様であると仮定した（過小評価側）。



出典:調査団

図 6-36 頂版の 1m あたりの断面図

表 6-3 RC ロックシェット部材諸元

	頂版	壁	底版
引張鉄筋	2 D25-125	2 D25-250	2 D25-250
圧縮鉄筋	2 D32-250	2 D16-250	2 D16-250
有効高さ	0.85	0.85	0.85
鉄筋降伏強度 MN/m ²	345	345	345
コンクリート強度 MN/m ²	24	24	24
M_y kN・m	1992	1649	1029

出典:調査団

- コルゲート鋼板の断面

コルゲート鋼板の断面を示す（図 6-37）。コルゲートについては板厚 8mm と部材の高さは 150mm であるものを想定した。材質は不明であったため、日本の規格の SS330 相当と考えた。

Corrugation Profile 400 x 150mm

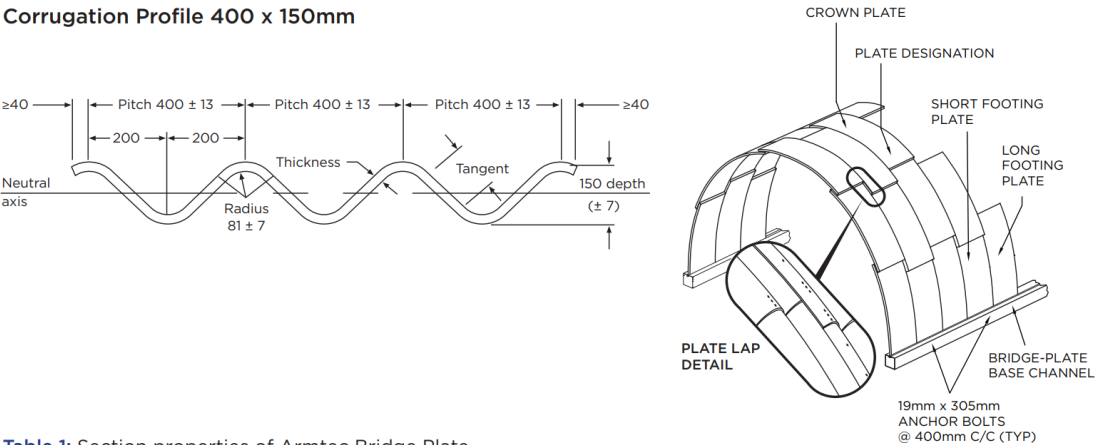


Table 1: Section properties of Armetec Bridge Plate

Nominal Thickness	Design Thickness	Tangent Length	Angle θ	Area of Section	Moment of Inertia	Elastic Section Modulus	Plastic Section Modulus	Radius of Gyration
(mm)	(mm)	(mm)	(degrees)	(mm ² /mm)	(mm ⁴ /mm)	(mm ³ /mm)	(mm ³ /mm)	(mm)
4.3	4.21	112.41	51.29	5.792	16,187	200.52	273.62	52.86
5.0	4.95	111.42	51.44	6.811	19,060	235.04	321.70	52.90
6.0	6.00	110.00	51.64	8.260	23,154	283.71	390.57	52.95
7.0	7.00	108.63	51.84	9.640	27,071	329.69	456.35	52.99
8.0	7.94	107.33	52.03	10.940	30,759	372.48	518.88	53.04

出典: armetec Bridge Plate

図 6-37 コルゲート鋼板の断面

表 6-4 コルゲート鋼板の機械的性質

●コルゲート鋼板

コルゲートパイプを構成するコルゲートセクションの波形1形にはJIS G 3131のSPHC同等以上、波形2形にはJIS G 3101のSS330を使用しています。

材質	化学成分(%)		機械的性質			
	P	S	降伏点	引張強さ	伸び(%)	曲げ角度
SPHC	0.050 以下	0.050 以下	—	270N/mm ² 以上	29以上 (1.6≤t<3.2mm)	180°
					31以上 (t≥3.2mm)	
SS330	0.050 以下	0.050 以下	205N/mm ² 以上 (t≤16mm)	330~430N/mm ²	26以上 (t≤5.0mm)	180°
					21以上 (5.0<t≤16mm)	

JFE コルゲート商品

・ 落石の衝撃力とエネルギー

落石の衝撃力は以下の式で与えられる。

$$P=2.108 \cdot (m \cdot g)^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H'^{3/5} \cdot \alpha$$

P：落石の衝撃力(kN)

m：落石の質量(t)

g：重力加速度(m/s²)

λ：ラーメの定数(kN/m²) H'：落石の換算落下高(m)

α：砂層厚と落石直系の比から決定される割増係数

α = √(D/T) T ≥ D のとき α = 1.0

D：落石直系(m) T：砂層厚さ (ただし T > 0.9m とする)

表 6-5 コルゲート鋼板の曲げモーメント

降伏曲げモーメント	M _y	84	(kN・m/m)
終局曲げモーメント	M _u	135	(kN・m/m)

AFAD の技術資料にはロックシェッドの衝撃力について示されていないが、落石防護擁壁への衝撃力として同じ式が示されている (吉田 2007)。(最初の係数の違いは落石の質量の単位を kg としていることによる)。

$$F = 0.02(m \cdot g)^{0.67} \lambda^{0.4} H'^{0.6} \left(\frac{T}{D} \right)^{-0.58}$$

(Yoshida, H., Nomura, T., Wyllie, D. C., Morris, A. J. (2007) Rock fall sheds—application of Japanese designs in North America. Proc. 1st. North American Landslide Conference, Vail, CO., AEG Special Publication No. 22., ed. Turner, A. K., Schuster, R. L., pp. 179-196.)

エネルギーは $E = mgH'$ である。今回の試算では H' を一定(50m)として落石の径を変化させて次のケースを設定した (表 6-6)。

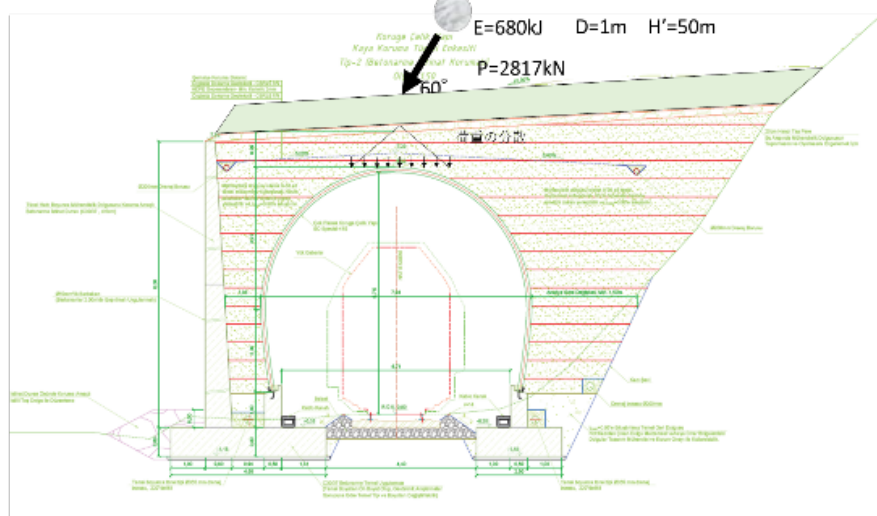
表 6-6 試算に用いた落石のエネルギーのパターン

	D (m)	mg (kN)	H' (m)	λ (kN/m ²)	T (m)	α	P (kN)	E (kJ)
1	0.45	1.24	50	1000	1	1	403	62
2	0.8	6.97	50	1000	0.5	1.26	1,612	349
3	1	13.61	50	1000	1	1	1,992	681
4	1	13.61	50	1000	0.5	1.41	2,817	681
5	1	13.61	50	三層緩衝材(EPS 0.5m)			1,860	681
6	1.2	23.52	50	1000	1	1.10	3,142	1,176
7	1.2	23.52	50	1000	0.5	1.55	4,443	1,176
8	1.2	23.52	50	三層緩衝材(EPS0.5m)			2,056	1,176
9	1.5	45.95	50	1000	1	1.22	5,489	2,297
10	1.5	45.95	50	三層緩衝材(EPS 0.8m)			2,169	2,297

出典:調査団

落石は 60° の角度で落下するとし、水平方向の荷重も考慮した。載荷点は対象の構造物の中央とし、線路直角方向の解析のみで傾向を考察した (図 6-38)。

アーチカルバート（谷・山） 落石 （自重、土圧（左側1/3）、地盤ばね（左側1/10）



出典: TCDD の図面に JST が追記

図 6-38 落石エネルギーと構造物の変形シミュレーション

- 骨組み解析による試算

- a.) コルゲートアーチのみ（図 6-39）

実際のコルゲートアーチは碎石に覆われているが、モデルでは碎石を考慮していない。わずかな荷重で降伏し、巨大な変位（変形）を生ずる。全く碎石の無い状態では 50m の高さから直径 0.5m の落石があった場合（62kJ 程度）のエネルギーにより、70mm の変位となり終局曲げモーメントに至ると考えられる（図 6-44）。

- b.) 両側から土圧と地盤反力を受けるケース（図 6-40）

軌道が谷底にあり、完全なトンネルになる場合である。コルゲートアーチカルバートの特性を生かした状況である。コルゲートの上部に埋戻し土(厚さ 0.8m)、その上部に排水用コンクリート(厚さ 0.20m)、緩衝材砂 (1m) が配置される。緩衝材の砂の下部から荷重が分散しアーチカルバートに伝達すると考えた。直径 1.2 の落石で圧縮応力が超過し、過大な変位を生ずると考えられる（図 6-44）。

- c.) RC ボックス（図 6-41）

通常谷側は柱としている例が多いが、壁と同じ剛性をもつ柱を配置すると考えた。柱間隔は 4m 程度の場合が多いので、部材を 4m として幅として試算を行った（荷重を 1/4 として 1m の部材について試算）。部材で主鉄筋は 2 段とし、頂版の引張鉄筋比率は上限と思われる約 1%とした。直径 1.2m の落石では 6mm の変位で 1200kJ のエネルギーを吸収する。1800kJ で降伏曲げモーメントに達し、変位は 8mm 程度である。降伏時の変位の 2 倍の変位で降伏時点の 3 倍のエネルギーを吸収すると考えると、5000kJ 程度の比較的大きなエネルギー吸収が可能である。降伏時の 3 倍の 25mm 程度の変位では 8000kJ のエネルギーを吸収するものと予想されるが、大規模な修復が必要になる。

- d.) 谷側に擁壁を有するコルゲートトンネル（図 6-42）

谷側に変形を押さえる擁壁を有する。タイプである。試算では擁壁側の土圧の最大土圧を山側の 1/3、地盤ばねを 1/10 と設定した。b)と比較すると同じエネルギーに対して 3 倍の変位を生じる可能

性がある。700kJ 程度で降伏し過大な変位変形を生ずる。また、先に擁壁が落石等により損傷を受けると、a)のケースに急速に近づく恐れ場があり、落石が連続的に発生する場合は危険である。

e.) 谷側に擁壁を有し、三層緩衝材を設置するコルゲートトンネル (図 6-43)

三層緩衝材は、表層材の砂、芯材の RC 版、裏層材の EPS の三層からなる緩衝構造である。表層の砂は RC 版の直接の損傷を防ぎ、EPS は衝撃力を時間的に分散させる役目を持っている。三層緩衝材による衝撃力の算定は様々な制約のある数式の組み合わせであり、検証された範囲も限定的であるが、実験においては大きな効果が示されている。三層緩衝材による荷重の分布は $3\text{m} \times 3\text{m}$ になるとされている。本ケースでは更に盛土層 0.5m による分布の拡大 ($4\text{m} \times 4\text{m}$) を考慮した。

落石対策便覧による衝撃力の算定方法によれば落石エネルギーの増加による衝撃力の増加はほとんどないが、エネルギーからは RC 版と EPS の層厚を増加させる必要がある。また、検証実験の範囲が 2000kJ までであることも設計上の欠点と言わざるを得ない。

ケース d)では 700kJ 程度の落石エネルギーにしか耐えられなかったが、三層緩衝材により 2000kJ の落石エネルギーまで対応可能になることから、現在施工を行っているコルゲートトンネルに適用する利点は大きいと考えられる (図 6-44)。

・ 比較のまとめ

コルゲートトンネル型ロックシェッドと RC のロックシェッドの比較を試みた。e)の RC のロックシェッドは部材の厚さや鉄筋により、さらに想定する落石に対しての耐力の調整は可能であり、図 6-27 のように 10000kJ までのエネルギーに耐える可能性もある。一方コルゲートトンネルでは RC の 1/10 の最大 1000kJ の落石エネルギーにしか耐えることが出来ないうえに、急激にロックシェッドが大きく変形する可能性がある。

イスケンデルン・マラティア間は電化された区間であり、TCDD は電架設備をコルゲート鋼板に直接取り付ける設計をしている。調査団は現地調査において電架設備を直接コルゲート鋼板に取り付けることの危険性を指摘したが、TCDD 側としては計画を見直す必要性は低いとの認識であった。三層緩衝材を使用するケース e)では、落石のエネルギーの入力を大幅に抑制することが可能であることが分かる。想定するエネルギーが大きい場合には EPS の厚さを増加させることが必要であるが、電化区間では特にコルゲートトンネルに三層緩衝材による落石エネルギーの低減策を追加することが必要ではないかと考える。

また適用範囲以上のエネルギー (2000kJ) となる落石については引き続き、除去・根固め等の落石予防工や、落石防護網・柵等の落石防護工を設置する必要がある。

アーチカルバート 躯体のみ 落石

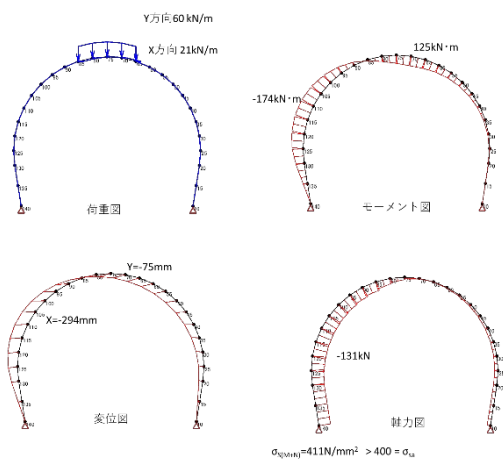


図 6-39 砂利緩衝材を持つコルゲートトンネル

アーチカルバート (両側土圧) 落石1 (落石、自重、土圧、地盤ばね)

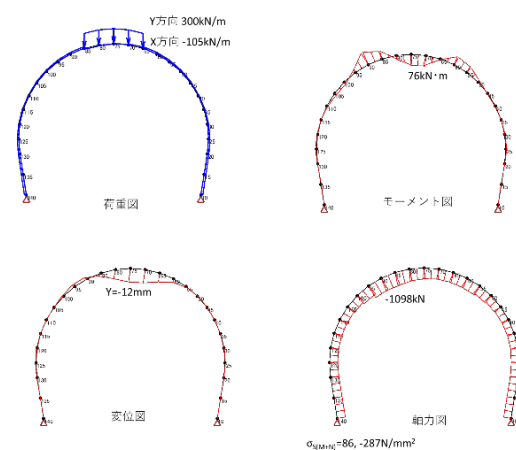
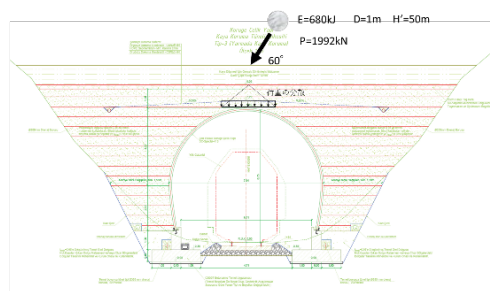


図 6-40 両側が山のコルゲートトンネル

ボックスカルバート 常時 (自重、土圧、地盤ばね)

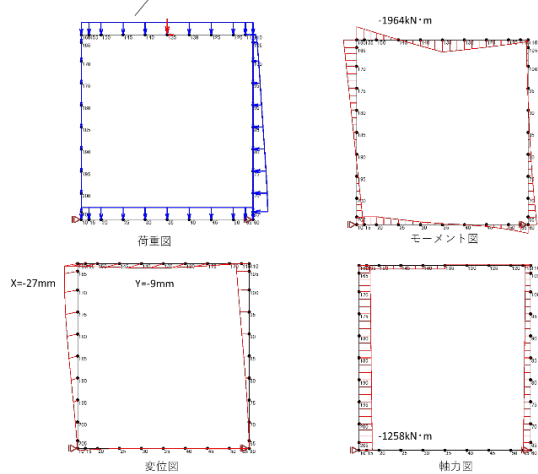
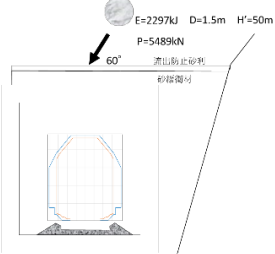


図 6-41 RC ボックス

アーチカルバート (谷・山) 落石 (自重、土圧 (左側1/3)、地盤ばね (左側1/10))

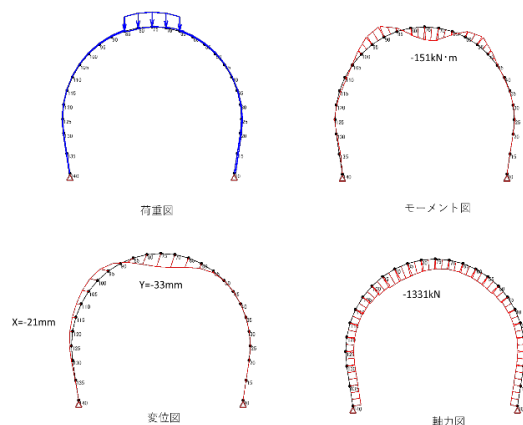
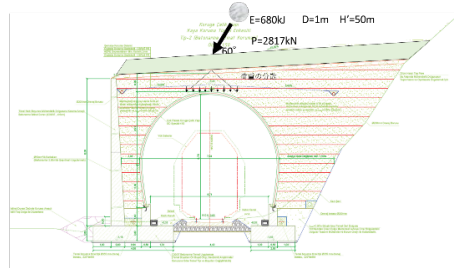


図 6-42 谷側に擁壁を持つコルゲートトンネル

アーチカルバート（谷・山） 落石（自重、土圧（左側1/3）、地盤ばね（左側1/10）

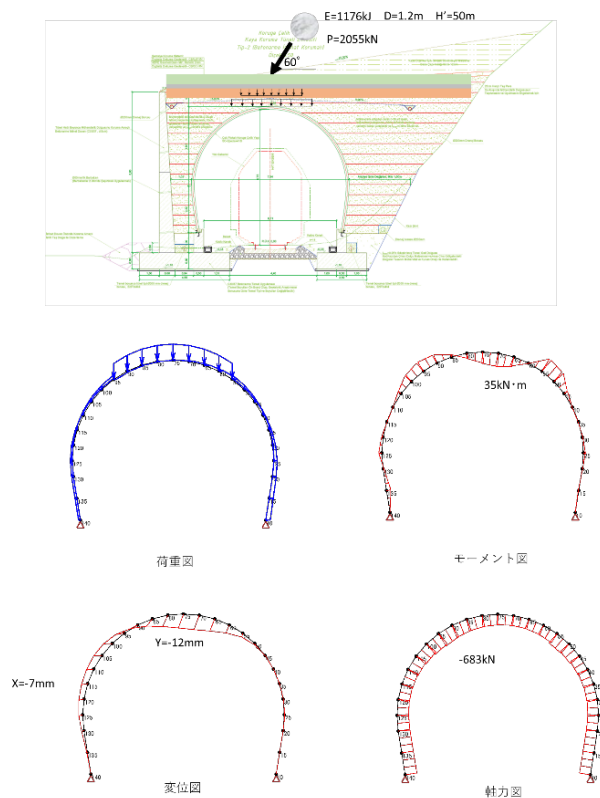
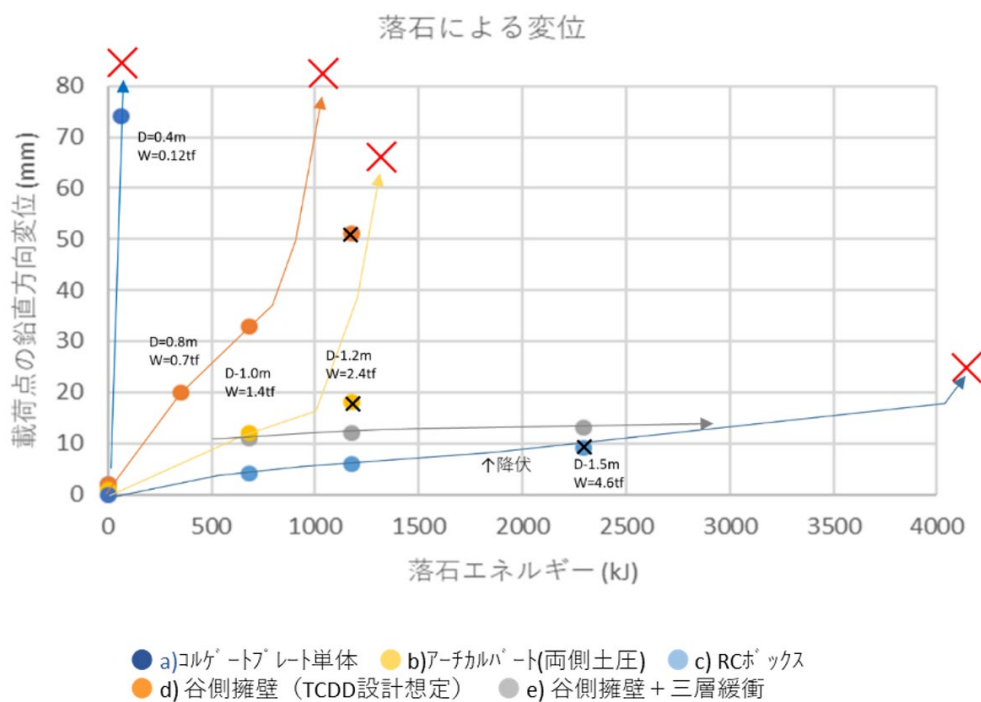


図 6-43 三層緩衝材を持つコルゲートトンネル

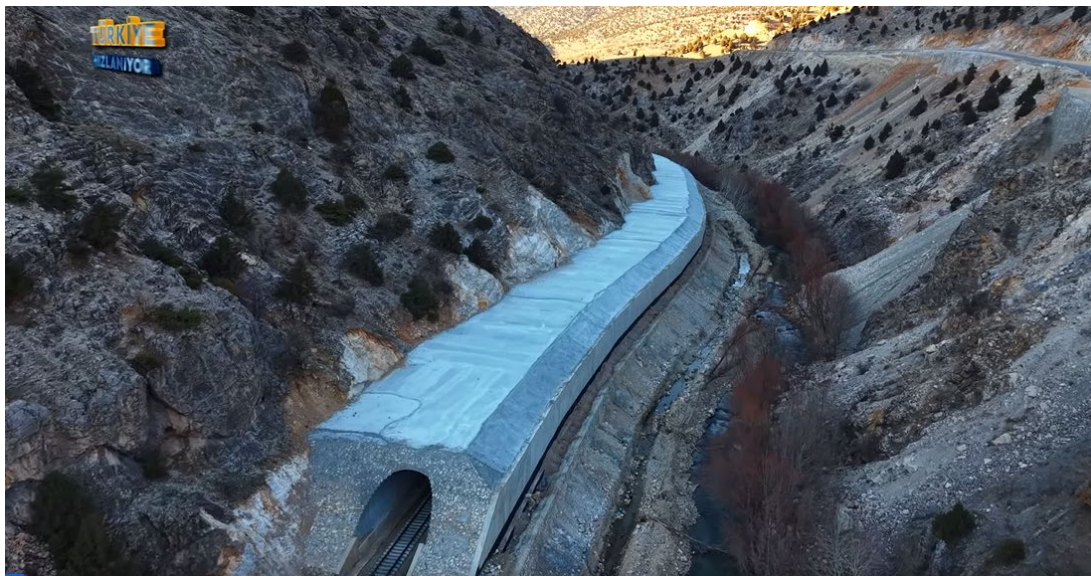


出典: 調査団の試算による

図 6-44 落石による構造物の変位

- ・ コルゲートトンネル落石防護工の施工

TCDD の公開の映像によればコルゲートアーチトンネルの施工は図面に準じて施工されているようであるが、谷側の擁壁までの距離は設計と比較して大きめに確保されているようである（図 6-45）。図 6-46 は施工中の様子とみられる。



出典: TCDD

図 6-45 完成したコルゲートトンネル



出典: TCDD

図 6-46 施工中のコルゲートトンネル

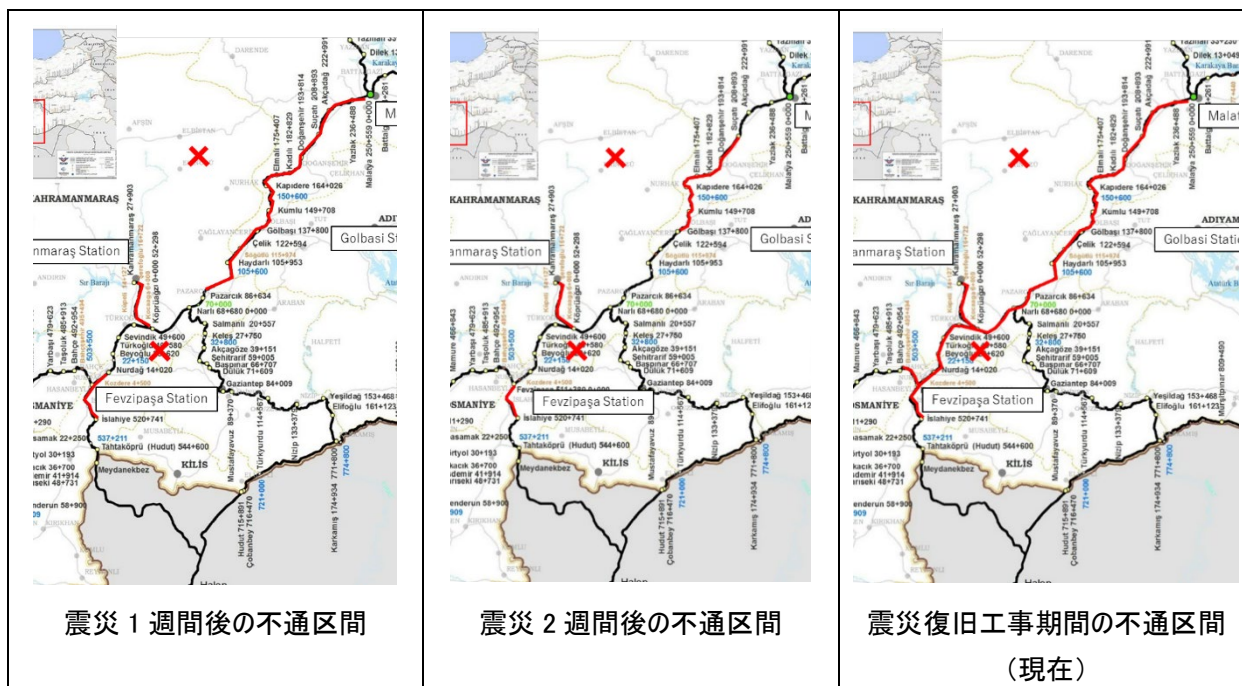
6.2 復旧体制等における課題

6.2.1 初動について

被災エリアの TCDD 路線延長は 1275km に及ぶが、地震の直後から TCDD は現地調査に入っている。現地調査のヒアリングでは TCDD 社員が震災後 2 日目から現地の調査に入ったという話を聞くことができた。

TCDD は軌道の補修等の復旧措置を行い、1 週間後には 1,060km を列車の走行が可能な状態に復旧、または走行が可能な状況であることを確認した。この時点での不通区間はイスラヒエフェヴジパシャ (9km)、フェヴジパシャ〜ヌルダウ (14km)、ケプリュアウズーカフラマンマラシュ (28km)、パザルスクーマラティア (164km) の合計 215km となった (図 6-47)。震災の 2 週間後には、不通区間はイスラヒエフェヴジパシャ (9km)、ケプリュアウズーカフラマンマラシュ (28km)、ギョルバシースチャトゥ (71km) となり、不通区間は合計 108km、概ね 2023 年 5 月調査で視察を行った構造物の範囲以外は列車の走行が可能になった。²⁷

被災区間の多くは土路盤の構造であることからその復旧は容易であったと考えられる。



出典: TCDD 資料に調査団が加筆

図 6-47 震災発生後の不通区間の推移

道路の復旧にも時間がかかっていたことから、鉄道は被災者の移動や燃料等物資の輸送に貢献した他、TCDD の所有する建物、車両に被災者を収容するなど AFAD と連携した被災者の救済を行った。

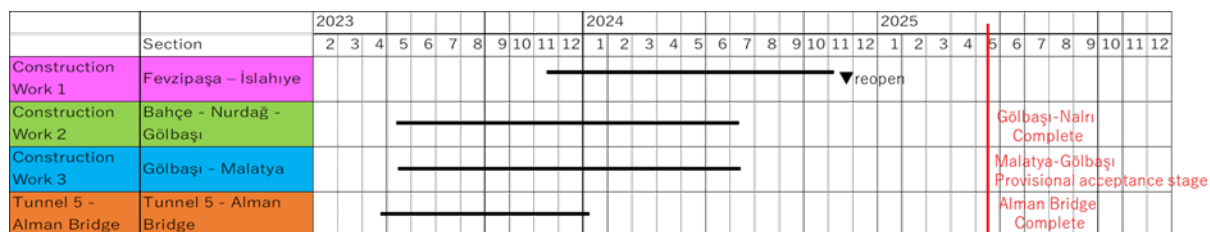
トルコでは復旧工事は予算が準備された後に開始される。このため、構造物の損傷を見極めながら道路等を開通させ、被災地への緊急物流支援を行うケースが見られるようだ。日本では都市生活および物流支援の観点から鉄道や道路の路線の重要度を考慮して構造物を選別し、応急復旧を行う。重要ではない路線や構造物は、応急復旧の対象とせず、応急復旧フェーズに続く本復旧フェーズにおいて

²⁷ Milliet 紙他の Web 記事による。

復旧工事を行う。

6.2.2 長期復旧工事の内容

TCDD は土木の長期復旧工事を 4 件契約している。3 件は路線の区間により工事を分割し、1 件はアルマン橋と No.3 トンネルに特化した工事である（図 6-48、図 6-49）。



出典:調査団作成

図 6-48 復旧工事のコントラクトパッケージと施エスケジュール

表 6-7 復旧工事の契約内容まとめ

項目	内容
Fevzipaşa-İslahiye Railway Section	
Contractor Name	Deha Altyapı A.Ş.
Date of Contract	2023 年 11 月 14 日
Contract Price	298,百万 TL
Ter Teslimi Tarihi 現場引渡し日	2023 年 11 月 27 日
Duration of The Work 工事期間	360 日
Expected End Date 完成期限	2024 年 11 月 8 日
Bahçe-Nurdağ -Gölbaşı Railway Section	
Contractor Name	Timaş Grup İnşaat A.Ş. Pakyoi İnşaat Taahhüt ve Tic. A. Ş. İş Ortaklığı
Date of Contract	2023 年 5 月 8 日
Contract Price	2,772 百万 TL
Yer Teslimi Tarihi 現場引渡し日	2023 年 5 月 10 日
Duration of The Work 工事期間	420 日
Expected End Date 完成期限	2024 年 7 月 3 日
Tunnel 5-Alman Bridge	
Contractor Name	Duygu Taahhüt ve Duygu İnşaat A.Ş.
Date of Contract	2023 年 4 月 28 日
Contract Price	327 百万 TL
Yer Teslimi Tarihi 現場引渡し日	2023 年 4 月 28 日
Duration of The Work 工事期間	247 日
Expected End Date 完成期限	2023 年 12 月 30 日

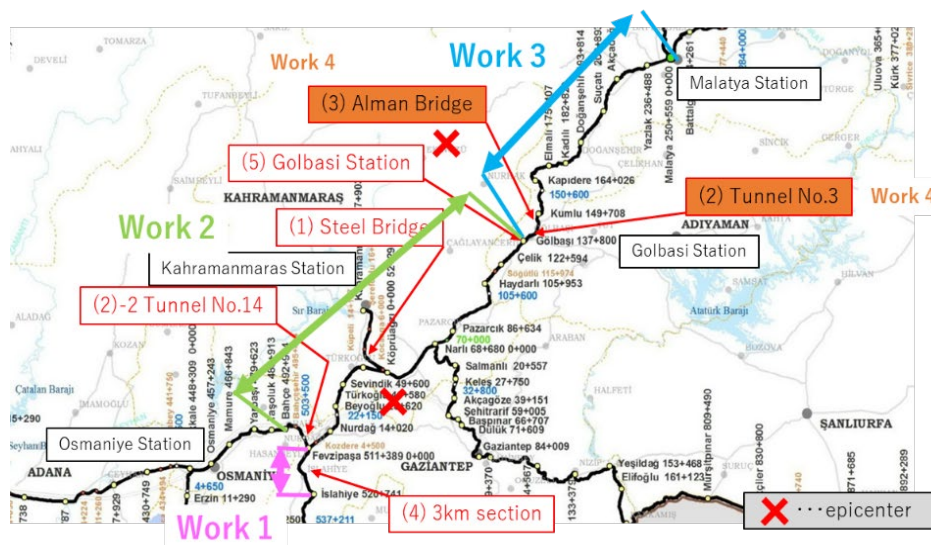
項目	内容
Gölbasi – Malatya Railway Section	
Contractor Name	YSE Yap Sanayive ve Ticaret A.Ş.
Date of Contract	2023 年 5 月 8 日
Contract Price	2,778 百万 TL
Yer Teslimi Tarihi 現場引渡し日	2023 年 5 月 10 日
Duration of The Work 工事期間	420 日
Expected End Date 完成期限	2024 年 7 月 3 日

出典：調査団

表 6-8 ギョルバシユ・マラティヤ区間における工事内容

対象	工事内容内容
上部構造	軌道敷設 68km、バラスト敷設 17 万 m ³ 、バラストレス軌道、分岐器敷設 16 式
下部構造	作業用道路 18km、掘削 130 万 m ³ 、地盤改良 40km、コンクリート擁壁
暗渠	497 箇所

出典：調査団



出典：TCDD 資料に調査団が工区分けを加筆

図 6-49 復旧工事の工区分け

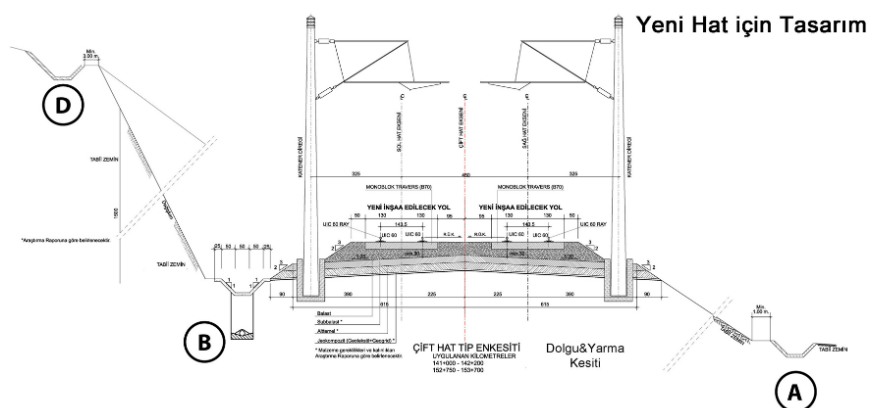
TCDD は工事のためにフェヴジパシヤ・マラティヤ間を運休区間として工事を行っている。これは貨物列車が全線をとおして運転するための路線であり、一部の区間で営業運転をすることには利点がないことが理由であると考えられる。TCDD の古い路線では建物、構造物について書面による基準を設けられていない場合があるが、その復旧に際しては、UIC および EN 規格に従う必要がある。こうした事情のために古い年代に建設された線区での復旧作業は、高規格化を伴うことになる（図 6-50）。線路の復旧時に高速運転に対応できるよう、線路構造の改善を行うことが目的のひとつである。

2023 年 4 月にトンネル No.3 とアルマン橋の工事が着工しており、竣功期限は 2023 年 12 月であったが、2024 年 2 月時点で工事は継続していた。施工者によればアルマン橋の補強工事は 7 月には完了し、トンネル工事は順調に工事が進んだとのことであった。

起点方のフェヴジパシャ・ギョルバシュ間の工事終点方とギョルバシュ・マラティア間の工事とともに 2023 年 5 月に着工をしている。終点方工事の請負者からは、2023 年から 24 年にかけての冬季の雪が少なく天候に恵まれているが、工事全体を竣功期限に間に合わせることは難しいと考えているようであった。山間部のため、物資の輸送がネックとなっているようであった。

フェヴジパシャ・イスラヒエ間の工事は 2023 年 12 月に着工し、完成期限が 2024 年 11 月である。落石対策工の構造選択について結論が出ておらず、設計が進んでいない状況である。アルマン橋工区以外の工事では、工事内容の多くは路盤の再構築・改良工事と落石対策工事である。

軌道工事と電気関係の工事は別の工事が発注されることになっており、土木工事の請負者は土木工事以降の工程については知らされておらず、自工事を工期内に完了させることが唯一の関心事であるという認識であった。起点方の工事では軌道や電気の工事が進んでいる様に見られたので、TCDD 内部でも他系統の工事への関心が薄いとみられる。



出典: TCDD

図 6-50 標準図的な線路設備

2025 年の 2 月の時点ではイスケンデルン・マラティア間の線路修復工事は 95%の進捗とのことである²⁸が、ギョルバシュ・マラティア間は土木工事が進行中であり当初工期からは 8 ヶ月以上程度遅れている。報道によると 2025 年 5 月末からギョルバシュで鉄道の運転が再開されるとの記載がみられる。震災復興工事の報告書²⁹には関連工事の決算経計画は 2029 年までとの記載があるが、信号関係のグレードアップも含めた期間である。

2025 年 5 月時点の TCDD からの情報では、イスラヒエ・フェヴジパシャ間は 2024 年 11 月に運転を再開しており、ナルル・ギョルバシュ間は工事が完了、ギョルバシュ・マラティア間では施工業者からの TCDD への引き渡しが行われた状況であるとのことであった。

²⁸ <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/depremlerde-hasar-goren-golbasindaki-demir-yolu-hattinin-onariminda-sona-gelindi/3465189> (2025 年 4 月 10 日閲覧)

²⁹ <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2025/02/Kahramanmaraş-ve-Hatay-Depremleri-Yeniden-İmar-ve-Geliştirme-Raporu.pdf> (2025 年 4 月 10 日閲覧)

6.2.3 トルコ・シリア地震後の震災復旧工事の課題

今回 2023 年 2 月の震災において多くの区間で鉄道の復旧は早かったと言える。これは多くの構造が土路盤のバラスト軌道であるため、特別な方針の決定の必要性が低く、復旧体制を確立する必要がなかったためである。

トンネル No.3 やアルマン橋、フェヴジパシャ構内路盤崩落では他の改良工事に隠れて表に出ることは無いが復旧に時間がかかっている。今後高速鉄道や在来線の改良等で高架橋や橋梁、規模の大きい土構造等も増加する中で、構造物の早期復旧、応急復旧技術の確立、方針の早期決定が必要になってくると思われる。

6.2.4 日本における復旧体制

TCDD と調査団の情報交換、意見交換を行った。調査団からは日本の自然災害対策についての技術や体制についての紹介を行い、TCDD 側からは震災復旧工事の現状やその他災害の対応策の紹介があった。この中で JR 東日本の震災復旧体制と耐震補強技術および耐震設計の説明を行い、これと対照してトルコの状況を把握した。

JR 東日本の鉄道構造物は古くから地震による大きな被害を受けて来た。近年では 2004 年の新潟県中越地震、2011 年東北太平洋沖地震、2022 年福島県沖地震などがある。とりわけ 2011 年の東北太平洋沖地震は東北から関東までの広い範囲の構造物に被害が及んだが、復旧体制の確立と蓄積された技術力により、新幹線をはじめとした各線は短期間に運転を再開した。

1. Overview of Earthquake Damage to High Speed Railways in Japan

● Earthquakes

① The 1995 Southern Hyogo Prefecture Earthquake

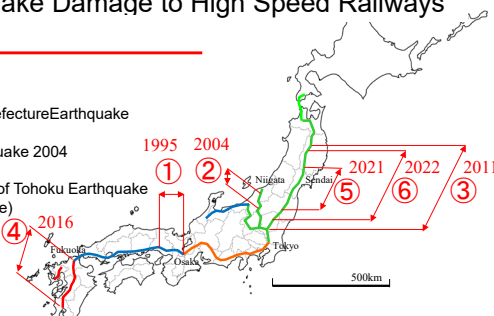
② Mid Niigata Prefecture Earthquake 2004

③ The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake (Great East Japan Earthquake)

④ 2016 Kumamoto Earthquake

⑤ 2021 Fukushima Earthquake

⑥ 2022 Fukushima Earthquake



	①	②	③ Main	③ After-shock	④	⑤	⑥
	1995.1	2004	2011.3	2011.4	2016.4	2021.2	2022.3
Magnitude	M 7.3	M 6.8	M 9.0	M 7.1	M7.3	M7.3	M7.4
Seismic Intensity	7	7	7	6+	7	6+	6+
Distance	83 km	56 km	496 km		257km	228 km	344 km
Viaduct	708	47	100	20	37	70	60
Electric pole	43	61	1010	470	0	20	90
Recovery days	81	66	49		13	11	29

出典:調査団

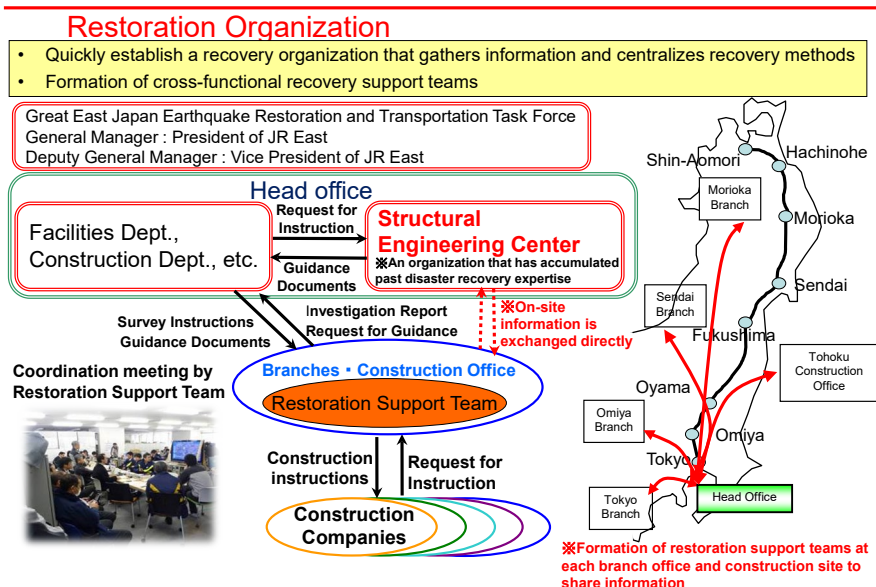
図 6-51 日本の新幹線の震災復旧実績

日本の新幹線は重要な交通機関であり、JR 各社は短期間に運転を再開することに強い使命感を持っている。国鉄民営化後の主な新幹線の地震では 1995 年の兵庫県南部地震では高架橋に大きな被害が出たが、高架橋スラブの再利用等の工夫により、3 か月で運転再開を果たした。その知見から後耐震補強等の技術開発と並行して工事を進め、被害を減少させる施策が進められてきた。また、震災対策本部における構造物の復旧支援体制の確立により、復旧工事の着手を早期化するなどの努力に

より極めて短期間で運転を再開している。

JR 東日本ではエリアで大規模な地震が発生すると安否確認と並行して、社員並びに協力会社社員によって施設の調査点検が開始される。調査点検は被災地の支社や工事事務所に設置された現地対策本部の指示によって実施される。集約した情報は現地対策本部から本社の関連部門に一元的に送付される。鉄道は多くの機関・系統が連携しながら運行管理を行っているため、情報の一元管理が必要となる。現地における情報管理と指揮は現地対策本部が担い、経営管理を行う本社では関係機関の情報をとりまとめ、指示を行う（図 6-52）。

2. Consolidation of the disaster situation and restoration system



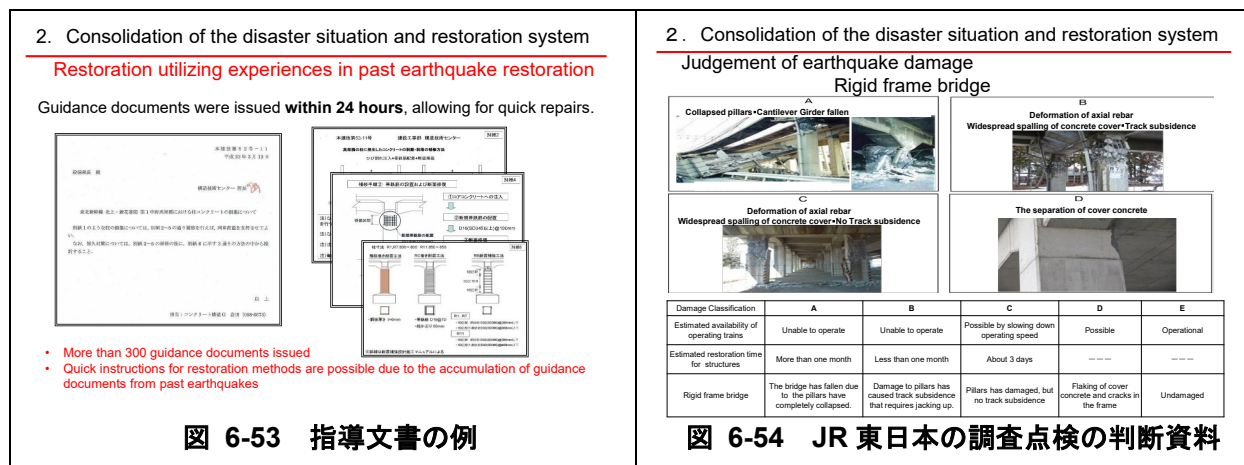
出典：JR 東日本

図 6-52 JR 東日本の復旧体制

復旧を迅速に行うには、現地からの情報や復旧工程に合わせた復旧方針案を策定する技術支援機関の役割が重要である。JR 東日本では構造技術センターがその役割を担っている。大規模地震では被災状況の報告を受けると 24 時間以内に復旧方針を指導文書として発行している（図 6-53）。

TCDD からは技術支援機関の構成員について質問があった。TCDD には構造技術センターに当たる組織は無いため、構造技術センターが JR 東日本社員によって構成されることを回答すると感心している様子であった。

また、トルコでは自然災害後の構造物の状態を評価するシステムも持っていないため、日本において調査点検時に調査員が共通の基準をもって損傷の程度を報告することを可能にしている点についても関心を寄せていた（図 6-54）。



出典: JR 東日本構造技術センター資料

6.2.5 復旧体制における課題

a.) 経験の蓄積とこれに裏付けられた技術力

JR 東日本の構造技術センターに当たる技術力の高い組織を設立し、さらに災害への対応の経験の蓄積を行うことが必要である。

被害構造物の復旧方針に関してはトルコ国の大学の教授と JR 東日本の技術者の判断は相互に同意できるものであったことから、大学や他鉄道会社の技術協力も考えられる。

b.) 復旧組織の体制制定と早期立ち上げ

災害対策本部等の復旧組織の体制を事前に定めることと復旧組織の早期立ち上げは、地震による構造物の被害への対応だけでなく、救護、資源配分等あらゆる情報の活用が必要である。定期的な参集訓練や組織間の連絡の訓練を行うことが効果的である。

c.) 復旧方針の早期決定

現状の TCDD 内部において、復旧方針策定を行う組織体は確認できておらず、災害に応じて各担当部門が対応している状況である。線区の重要度による仮復旧または本復旧等の判断には経営的な判断が必要であり、技術組織が全社的な本部の内部に設置され、迅速な判断を行うことが必要である。

d.) 指揮命令系統が明確な組織の構築

TCDD において、日本の鉄道事業者のような対応プロセスの見直しの取り組みや、部門間訓練の実施は確認できなかった。あくまでも各部門、各部署として、災害の事後対応を都度行っているのが現状である。災害時の指示の混乱を防ぐため、災害対策本部の立上げとともに、指揮命令系統の確認や最新通信技術の導入による見直しを常に行うことが必要である。

e.) 組織間の協力による早期復旧

トルコでは AFAD を中心に災害直後の緊急体制においては行政組織や TCDD を含むインフラ組織が協力を行い、人命救助や安全の確保を行っている。しかしながら、その後の長期復旧フェーズについては協力体制が不足している印象が強い。日本の近年の取り組みでは (図 6-55、図 6-56)、道路、河川、鉄道の関係者により、総合的な復旧工程の検討が行われ、全体工期の短縮およびコストの削減を実現している。



出典：国土交通省

図 6-55 日本における道路・河川関係者と連携した復旧事業の例

JR西日本 呉線(水尻地区)の早期復旧に向けた連携・調整状況

国土交通省

○JR呉線(呉・坂間)の復旧工事(流入土砂の撤去等)を実施するにあたって、隣接する国道31号(国土交通省中国地方整備局)、広島呉道路(NEXCO西日本)の復旧工事との連携・調整等により、JR呉線(呉・坂間)の復旧時期の前倒し(11月中→9月9日(予定))を実現。

- ・NEXCO西日本が、JR路線上の流入土砂も含め、一体的に土砂撤去・搬出。また、中国地方整備局が国道31号用地を土砂仮置き場として提供。さらに、搬出にあたっては中国地方整備局が交通状況を踏まえ搬出時間帯を調整。
- ・線路上の土砂撤去後、軌道や電気等の工事が速やかに進むよう、広島呉道路及び国道31号の復旧工事の工程を調整。



出典：国土交通省

図 6-56 JR 呉線復旧事業 (JR 西日本・NEXCO 西日本・中国地方整備局の事業間連携)

第7章 まとめ

7.1 トルコ国における課題

(1) 防災システムに関する課題

防災システムに関する調査については、初回渡航において、その有用性や必要性を TCDD 側に理解してもらうべく、セッションを行った。その結果、特にこうした防災システムを活用した O&M に関して、能力強化が課題である点は TCDD も認識していることが判明した。

また、WB との協議や日本国内における関係者との協議でも、防災システムを活用した運転規制の実施や、運転再開に向けた点検等に関する規定類の整備といった、O&M 能力や体制の強化が必要不可欠であることが言及されている。

また 1.7 において示す通り、トルコ国内では一部の災害に対しての観測網が既に存在しており、これらを災害発生時の運行管理に活用できる可能性がある。しかし関連する省庁へのヒアリングの結果、既存の観測網は鉄道の防災を目的とした観測網となっていないことや、鉄道にとってリスクとなる災害に対して観測を行っていないこと、また観測情報の共有体制が構築されていないことが確認された。各省庁はいずれも、情報の利用を制限することはないという意見であったが、あくまでも利用する側の要請に応じ、提供を検討するという姿勢であった。

なお、過去の事故報告書において、MGM を含む関係者への提言が UEIM からなされているものの、その後も MGM や DSI からの観測データ提供は進んでいないことが確認されている。

(2) 法令・基準等の整備に向けた課題

トルコにおける法令の整備状況が一定程度把握された。トルコには国および県レベルでの事前防災計画や、対応方針等は一部存在するものの、それらの法的実効性や実態としての整備状況等は限定的である。基本的には発生後の対応、対処計画であることが確認できた。

またそれらの中に、鉄道の復旧を含むインフラ防災等の観点が明確には含まれていないことが確認できた。なお、事後防災についても、基本的には地域自治体と地域の AFAD による事後防災体制枠組みでの対応が基本である。このため、この枠組みに含まれていない TCDD では、災害後の復旧を基本的には自力で実施しなければならないことも確認できた。

また、鉄道の運行における基準や規程に関しては、一部の都市鉄道事業者や鉄道システムにおいては定量的な判断指標を用いた意思決定が行われている。特に都市鉄道事業者にあつては、上記の防災体制に組み込まれていることから、自然災害以外の各種災害に対しても事前シナリオが準備されており、自主的かつ計画的にしっかりと災害対応方針を定めている印象を受けた。ただし、都市鉄道事業者の路線の大半は 21 世紀以降の建設であり、大規模災害の被災、復旧経験が無い。そのため、今後システムがより広範囲に広がっていく中で、上記の対応方針や基準で、鉄道運行の早期の再開に対して充分であるかという点に関心があることが判明した。

なお、災害復旧手順等も定まっていないことも確認された。実際に災害が発生した場合の復旧にお

いて、日本のような資金補助のスキームは存在しない。トルコ・シリア地震のような大災害では、政府の緊急事態宣言に基づいた国家予算の MOT 経由 TCDD への割り当てが講じられ、TCDD は復旧工事が可能となった。このように、都度地方自治体や国の予算を活用して復旧を行うこととなるとの想定が、現地関係者から確認された。現在のところ、都市鉄道事業者に大きな自然災害の被災事例が無く、復旧の経験もないため、事前の復旧スキームの検討に関して必要性が理解されていない可能性があると考えられる。

(3) 構造物の復旧に関する課題

2023 年トルコ・シリア地震における被災区間の多くは土路盤のバラスト軌道で構成されていた。各地で軌道の復旧工事が進められた結果、電力設備の復旧は依然として途上であるものの、車両や列車の走行可能な範囲が比較的短時間に拡大した。

車両や列車を通すことが不可能な区間には、橋梁やトンネル等の構造物に大きな損傷が生じており、2023 年 5 月の JICA 調査団がトルコ側の要請により調査した箇所がこれらの構造物であった。トルコの学術機関が考案したトルコ側の復旧方針のほとんどは JR 東日本の技術者からみて同意できるものであり、2024 年 2 月の本件調査においては構造物の復旧が方針通りに勧められていることが確認され、構造物の復旧設計については必要な技術力を保有していると言える。

今後高速鉄道の整備によりトンネルや橋梁、高架橋といった構造物が増加すると、震災によって損傷を受ける構造物も増加する。このような中で多くの構造物の損傷診断や復旧方針の策定を迅速に行うことが課題になってくる。その課題の達成のためには以下のことが必要になると考えられる。

○技術組織の増強

- ・地震等災害時の調査要員の育成
- ・設計技術者の育成
- ・構造物設計データの一元管理
- ・内外事例の蓄積

○復旧体制の早期立ち上げ

- ・復旧体制に関する規定等の整備
- ・災害対策訓練の実施

○組織間の協力

- ・観測データ等の共有
- ・組織同士が共同して復旧計画を策定するための人間関係づくり

(4) その他の課題

その他の課題として、鉄道事業者、鉄道システムの位置づけが航空や港湾に比較して、やや軽視されている印象を受けた。1 章で述べた通り、トルコにおける鉄道輸送のシェアは数パーセント台であり、主要な都市間輸送手段として位置づけられていないことが、その大きな要因であると推測される。

その結果、鉄道以外に航空、道路、海運分野の事故調査を行う独立機関の UEIM では、28 名の専属スタッフの内、鉄道の専門官は 3 名であり、内 2 名が TCDD からの出向者となっている。ヒアリ

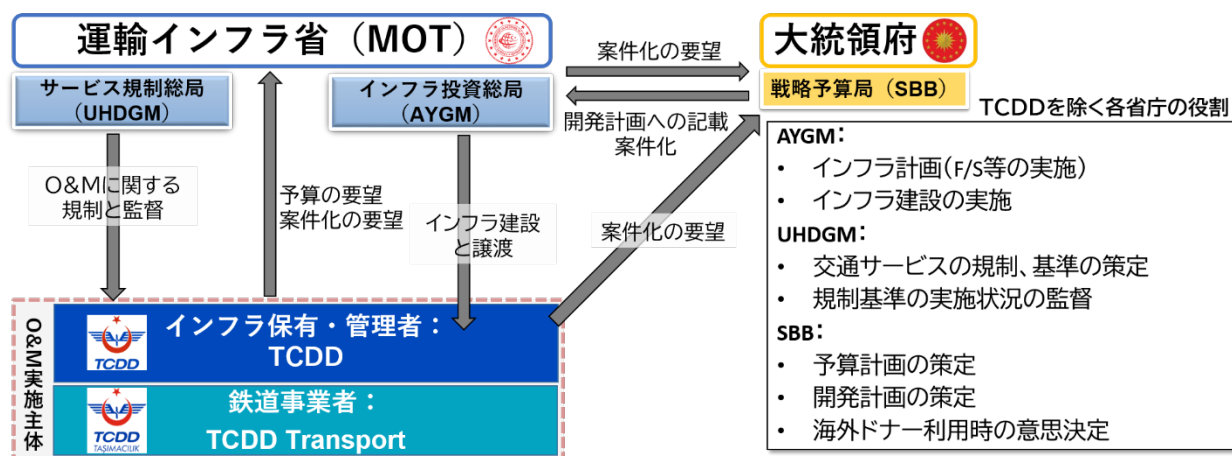
ングによると TCDD からの出向者 2 名が中心となって各地の事故調査等を行っており、要員が足りないこと、事故調査手法の向上や防止に向けた提言に実施状況等をフォローできていないことが確認されている。航空や海運は手厚く要員が割かれている一方で、鉄道分野への対応は限定的であるとのことであった。

また防災をつかさどる AFAD は、鉄道を含む各インフラの運営維持管理主体（空港、港湾、道路等）は、あくまでも MOT の下部組織との認識であった。このため、災害発生時は MOT の指示命令の下に活動を行うべきという意見であった。ただし、被災者への救援物資輸送や、避難民の移動等で AFAD と TCDD が速やかな協業を行っている点や、都市鉄道における復旧計画に AFAD の動きが盛り込まれている等、一定の協力関係は構築されている。

都市鉄道事業者においては、その属する大都市自治体の防災体制の下に配置され、災害時の役割分担、責任範囲が一定程度明確になっていることが確認できた。特に地震に対しては構造物設計段階で配慮され、乗客避難・運転判断等の対応が定められている。しかし、日本における荒川タイムラインのように、精緻な想定シナリオを設定して、交通事業者の役割を明確にした計画とはなっていない。このため、実際に災害が発生した場合に、都市内の交通事業者の持つ能力を最大限活用し、避難や救助を行うためには、事前防災としての計画策定が必要であると考えられる。

7.2 課題解決にむけた提言

7.1 および各章で言及された課題について、解決方策を検討すると共に、現地側に対しての情報提供を行って、認識の確認を試みた。トルコの鉄道 O&M ならびに鉄道防災に関係する省庁等を下図にまとめた。



出典:調査団

図 7-1 O&M の実施主体と関係する省庁との相関図

鉄道の防災能力強化には、構造物そのものの強靱化とソフト対策の実施の両方を欠かすことができない。しかし、図に示した通り、トルコ国の場合、鉄道インフラの建設主体、維持管理主体、列車運行主体、規制当局が異なっているため、これまで包括的なインフラ防災という観点での議論が深度化してこなかった経緯があった。また、鉄道 O&M 側から強靱化への強いニーズを示すことが出来ておらず、国としての包括的な鉄道強靱化のビジョンが無いこともあった。

これらを踏まえると、事前防災としての構造物の強靱化とソフト対策、更にそれらを実現する組織

体制（人、ルール、仕組み）のそれぞれの面で、中長期的な能力向上を図りつつ、優先度の高い課題について対応していく必要がある。調査において確認された課題を踏まえた、中長期の実施項目を下図に示した。

Items		現在	将来
構造物強靱化		優先箇所の施工 第二優先箇所の施工 優先度の低い箇所の実施 応急復旧の実施 長寿命化対策	
防災システム 設置・展開	モニタリング装置の導入 設置	優先箇所・災害種別 向けの設置 広範囲な観測機器の設置	
	鉄道用防災システム プラットフォーム整備	防災システムの設 置準備 防災システムの 設置・稼働	外部の観測網、データの利活用 防災システムを活用したO&M
能力強化の 必要性	要員養成、能力強化	コア要員の教育・訓練 要員教育の水平展開	
	組織体制構築	事前防災を担う部署の設立 内部規定の策定	内部規定のアップデート

出典:調査団作成

図 7-2 防災分野別の将来の実施項目案

既に述べた通り、基本的な構造物強靱化そのものは、トルコが主体となって実施できる可能性が高い。トルコの建設企業は国内のみならず、海外でも势力的にプロジェクトを受注しており、既に一定の技術的知見、実績を有している。また、2023年5月調査を踏まえつつ、TCDDは大学等の研究機関にも協力得ながら、基本的な復旧工事に向けた設計、施工を実施してきた。くわえて、本震災からの復旧と合わせた高規格化を、トルコ企業が実施しており、構造物強靱化の実施が困難であるとは考えにくい。

ただし、橋や高架と言った一部の構造物においては、日本の知見を活用できる可能性がある。また鉄道インフラではないものの、本邦企業が橋梁強靱化に向けてプロジェクトに参画している。これらの企業は、トルコにおいて既に十分な展開実績を有し、その現地リソースを最大限活用し新たな領域に参画することを意図していることが、調査において確認された。

なお、鉄道インフラの耐震補強基準や、補強の実行を支援する制度は整備が整っていない部分がある。また、AYGMが実施しているリスク評価等をTCDDが実施しているかどうかは確認できなかった。

これらについては、省庁間の連携が不十分であること、データの共有や収集体制が未整備であることに起因していると考えられる。また耐震基準の見直し等は、鉄道を含めた他のインフラも合わせて検討を行う必要があり、この領域については支援が必要な可能性がある。

いずれにせよ、TCDDの路線網は非電化区間や、老朽化した区間が存在することから、災害復旧と合わせて優先度をつけ、それらのリハビリテーションを行いながら強靱化を実現する必要がある。それにはTCDD自らが関係省庁にそれら対策の重要性を説明し、必要な予算を獲得していくことが前提となる。

ソフト面における能力向上として、鉄道向けの防災システムの設置が考えられる。これらを実現するには、モニタリング機器の展開を進めることと、情報システムのプラットフォームの整備を進めることが必要となる。本邦企業が有する製品群や、O&Mに関する知見を用いてトルコ企業が担えない領域へ、ビジネスとして参画する可能性があり、それらを志向する本邦企業が存在することが確認された。

中期的なマイルストーンとしては防災システム設置と稼働が目標となるが、防災システム配備に

においては、TCDD の組織体制確立や、規程・仕組み作りにおいてキャパシティビルディングが必要不可欠となる。この組織体制強化とは、例えば事前防災を担当する部署の設置や、O&M の仕組み(SOP、取扱のルール等の内部ルールを含む) 作り、意思決定の基準作りがある。これらについては、本邦企業が有する O&M 知見を活かして、JICA をはじめとする海外ドナーの技術支援パッケージを活用しながら展開を行う余地がある。組織体制強化には、当該調査の主要なカウンターパートであるメンテナンス部門のみならず、上位組織への働きかけ、総務系・財務系部門の協力も必須となる。

それらに加え、トルコ国内の関係機関が有する、気象データや水位データ、地震観測ネットワーク等を、将来的に活用することが有効であると考えられる。これは、TCDD のみで観測網を形成することは困難である可能性が高いため、今後も TCDD から粘り強くはたらきかけをする必要がある。

ただし、省庁を跨ぎ情報共有を行うことは容易ではなく、必要性の説明や省庁間を越えた理解の形成が必要となる。これには、TCDD 自らの他省庁への働きかけや、個別企業によるビジネス展開という形のみでの理解醸成は難しい点があり、JICA をはじめとする海外ドナーによる技術協力を通じてのハイレベルへの提言や、日トルコ防災共同対話のような政府間枠組みで理解を促進していく必要がある。また、言い換えればそうした大量の観測データ等を鉄道 O&M に活用するためには、情報を活用するプラットフォームが必要となり、防災システム配備の必要性が高まると推測される。

さらに、将来的には防災システム配備後の O&M 支援において、本邦企業が関与する余地があると推定される。長期間に渡ってシステムを安定的に稼働させ、仕組みや基準を更新していく必要があり、それらについて本邦企業が有する知見を活用することが可能と推定される。ただしトルコの鉄道インフラ保有者や鉄道事業者は一定の鉄道 O&M 知見を有していることから、防災システムを用いた O&M という観点でスコープを絞った支援を行う形になる可能性が高い。海外鉄道事業者に技術支援を行った経験を有する本邦企業が、防災の観点での O&M 支援について参画の意図があることが確認された。

なお、開発計画を策定する SBB は防災の課題を認識しており、最新の国家開発計画には防災というキーワードが盛り込まれている。また、すでに述べた通り海外ドナーが構造物強靱化を含む、既存線改修の事業に着手している。このため、鉄道防災分野において参画を企図する本邦企業がビジネスベースで参画する余地、可能性は充分にあると考えられる。

ただし、本邦企業が参画する場合には、トルコ国内での代替品が無いこと、トルコ企業への技術移転等が行われることの二点が重要である旨、SBB がコメントしている点は、展開の検討において留意する必要がある。

また、インフラの建設主体である AYGM によると、実証実験を踏まえてモニタリングの有用性は理解するものの、インフラの建設主体である AYGM には防災システムやモニタリングシステムのプラットフォーム整備を担うことは出来ないとのコメントであった。すなわち、既存のインフラに対するモニタリングを含めた、防災システムの配備は TCDD が自ら行う必要があり、AYGM が支援できるのは新造するインフラへの観測機器設置に留まるとの意見であった。

インフラの整備に関係する省庁の意見を踏まえると、今後、TCDD が自ら関係する省庁等に説明を行い、予算や人の配置を求めていくことが必要となる。このため、TCDD の能力強化の中にはそうした説明能力、計画策定能力を含む拡充が必要となる。