

令和5年度補正グローバルサウス未来志向型共創等事業委託費
(グローバルサウス諸国に対する質の高いインフラ等海外展開に向けた
戦略策定等調査)

マスタープラン策定
～気候変動の適応策以外の防災（地震・津波・火山活動等）にかかる
マスタープラン～

**トルコ国本邦技術導入による橋梁耐震化促進
マスタープラン策定等調査事業（諸国連携用）**

最終報告書

公開版

2/26 提出版

目 次

1. 事業背景・目的	1
1.1. 本事業の背景.....	1
1.2. 本事業の目的.....	2
2. 実施スケジュール・体制.....	2
2.1. 実施スケジュール（マイルストーン）	2
2.2. 実施体制.....	3
3. 実施内容	4
3.1. 現状評価や将来予測.....	4
(1) トルコの世界経済フレーム	4
(2) 対象事業領域の市場環境.....	4
(3) 政策動向：インフラ・道路橋梁に関する耐震施策.....	5
(4) 政策動向：本邦支援と他国ドナー支援状況.....	12
(5) 既存橋梁耐震補強の技術動向.....	17
(6) 日本とトルコの耐震基準、適用技術の違い.....	34
(7) 未充足課題やニーズ分析.....	35
(8) 事業の Key Success Factor など	38
3.2. 課題の特定と目標設定.....	38
(1) ヒアリング結果.....	38
(2) 課題の特定と目標設定及び事業の方向性	40
3.3. 打ち手の案とその評価.....	41
(1) ニーズに即した事業としての日本の強み・勝ち筋（打ち手）	41
(2) 強み・勝ち筋を踏まえた事業参入機会案の整理・評価.....	42
3.4. 具体的な戦略の策定.....	42
3.5. 相手国関係者等への提案の実施	43
(1) 本マスタープランの目標と成果.....	43
(2) 本邦招聘実施	44
(3) 現地セミナー	44
(4) コンサルタント・ゼネコン意見交換会	44
(5) 本事業の成果とマスタープラン全体での評価	45
3.6. マスタープラン 実現のための次のアクションプランの検討.....	47

1. 事業背景・目的

1.1. 本事業の背景

(1) 背景

本事業では、トルコ国への「トルコ国本邦技術導入による橋梁耐震化促進マスタープラン」策定を提案する。

トルコ国の地震防災を強化していくためには、緊急輸送路の強靱化など道路インフラの耐震性能向上が不可欠である。2023年のトルコ・シリア地震にも見られたように、橋梁の崩落やダメージによりスムーズな通行が妨げられたことで救助や復旧のスピードが大幅に低下し、緊急時のボトルネックとなることが明らかになっている。そのため、橋梁の耐震性能強化をトルコ国の道路ネットワーク全体で行い、非常時でも緊急輸送路を通行可能にする対応を行うことは、地震防災における重要な要素である。本邦政府・企業はこれらの知見・ノウハウを有しており、これらをトルコ国に活用することができると考えられる。

しかし、トルコ国における既存道路インフラの耐震対策は順調に進んでいるとは言えず、その主な課題は以下の事が想定される。

- ・ 政府の防災施策には橋梁を含むインフラの耐震化が含まれているが、復旧等の事後対策が主体となっているため、事前投資による減災の重要性の認識と意思決定の強化が必要。
- ・ 橋梁耐震化の予算や活動が新設橋梁に集中しているため、道路網強靱化の視点での既存橋梁を含めた橋梁耐震化を図る施策が必要。
- ・ 既存橋梁耐震化促進のための現状の脆弱性の把握や耐震強化の優先順位の設定、実務レベルでの事業推進・設計施工指針の策定等の事業推進強化が必要。
- ・ 耐震補強における耐震設計基準の適用が、従来下部構造補強工法に偏っており、経済性・環境性を踏まえた免震・制震等の新規技術の導入ができるものに改善が必要。
- ・ 耐震補強を行う際には既設構造物が健全である必要があるが、その既存橋梁への維持管理の適切な遂行とモニタリング等が必要。

この中で、日本企業がトルコ国に対して既存橋梁の耐震化に関し、日本企業に優位性のある新規技術を導入して受注活動を検討する場合、例えば、トルコ道路橋梁耐震設計基準（2020年改定）の適用に係る課題が存在すると考えられる。この基準において、耐震補強技術として導入できる手法は、限定的な制限はないものの、選択肢のバリエーションが少ないことと既存橋梁への適用指針が無いことで、結果として殆どが橋脚の巻立工法などの従来工法の採用にとどまっている。具体的に、この設計基準では、橋脚に対する補強としてRC巻立て、鋼板巻立て、杭やフーチングの補強工法等が示されているものの、新規技術である免震・制震工法の数種類の数値的な基準が述べられているのみで、落橋防止対策等橋梁全体として耐震性能を向上する例示がされていない。また、トルコ国政府側においては、免震・制震工法の技術的有效性や理論的利点について一定の理解は示されているものの、現行の設計基準や発注・積算の枠組みにおいてこれらの工法を積極的に検討・採用する仕組みが制度的に位置付けられているわけではない。そのため、耐震補強事業における工法選定は従来工法を前提としたものとなりやすく、既存橋梁耐震化において免震・制震工法の導入を促進するような発注方式や評価基準にはなっていない。このような制度的・運用上の枠組みが、日本企業に優位性のある免震・制震技術の導入における実質的なボトルネックとなっている。

(2) 必要性

上記の状況から、トルコ国における既存道路橋梁の耐震化手法として免震・制震工法等の新規技術が積極的に導入されれば、トルコ国の道路橋梁耐震化が効果的に進むと共に、免震・制震工法に優位性を持つ日本企業がトルコ国での既存橋梁耐震化事業に参入可能な事業機会が増えると考えられる。しかし、現状は前述の制約状況が、日本企業のスムーズなトルコ国進出のボトルネックとなっている。従って、日本が得意とする免震・制震工法を用いた案件への参入におけるボトルネックを明らかにし、それを解消する施策の提案をトルコ国政府に対して働きかける必要がある。

これを実現するためには、実現への道のりを示すロードマップとアクションプランを策定する。

1.2. 本事業の目的

トルコにおいて、日本企業が、耐震補強工事を継続的に受注できる仕組みを整えることが目的である。

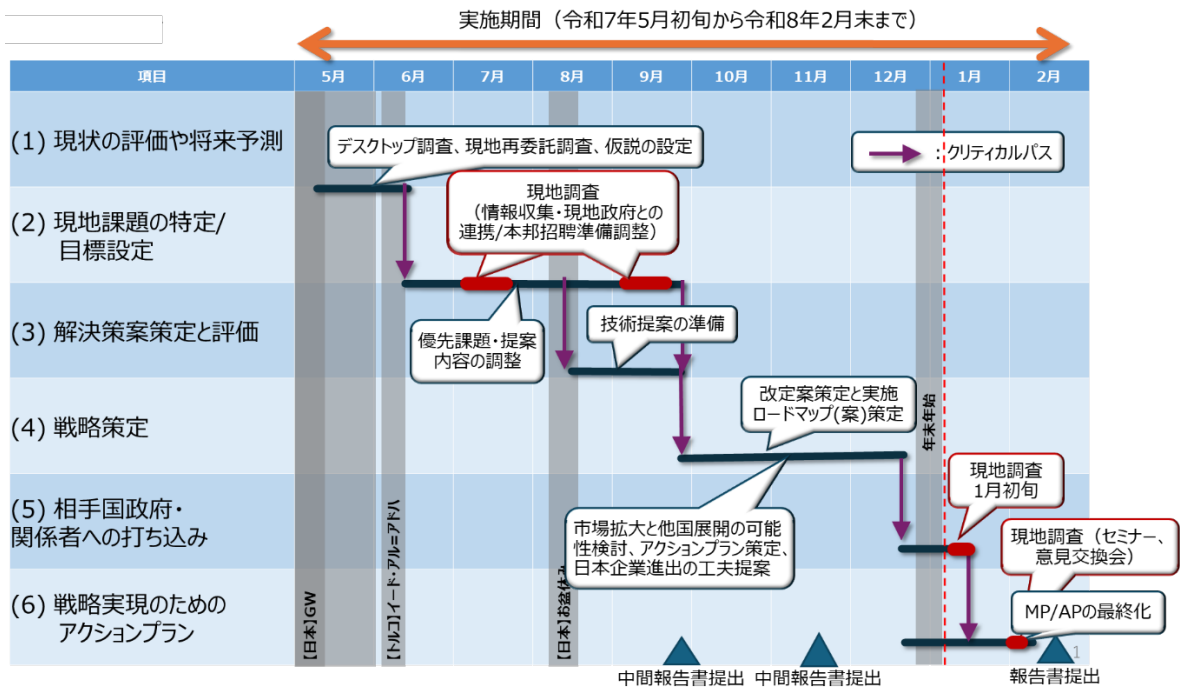
この目的を達成するために、現地（発注者、受注者の両者）で活用できる、日本に優位性のある耐震補強工法（免震・制震、落橋防止システム等）の適用指針案を提案し、橋梁耐震補強案件の形成を図ると共に、日本企業の実施事業への参入可能性を高める。

2. 実施スケジュール・体制

2.1. 実施スケジュール（マイルストーン）

以下に実施スケジュールを示す。

5・6月にデスクトップ調査により現状の評価や将来予測、現地課題仮説の設定を行った。7月の第1回渡航では、高速道路の管理運営の事業主体であるKGM（高速道路総局）等の政府関連機関及び大学へのプロジェクト趣旨の打ち込みを行った。9月の渡航ではKGM及び大学、建設会社・コンサルタントに技術面に特化したヒアリングを行ってプロジェクト目標の微修正を行い、KGMからは技術検討用の2か所の高架橋の図面の提供を受けた。当初9月に予定していた本邦附招聘はKGM側の都合がつかず、セミナーでの事例報告に切り替えた。2026年1月の渡航では、大学からセミナーで取り上げる技術内容や紹介する日本の事例、高架橋の日・トルコの技術比較についてのアドバイスを受け、2月にKGMセミナー、及び設計コンサルタント・施工業者との意見交換会を行った。

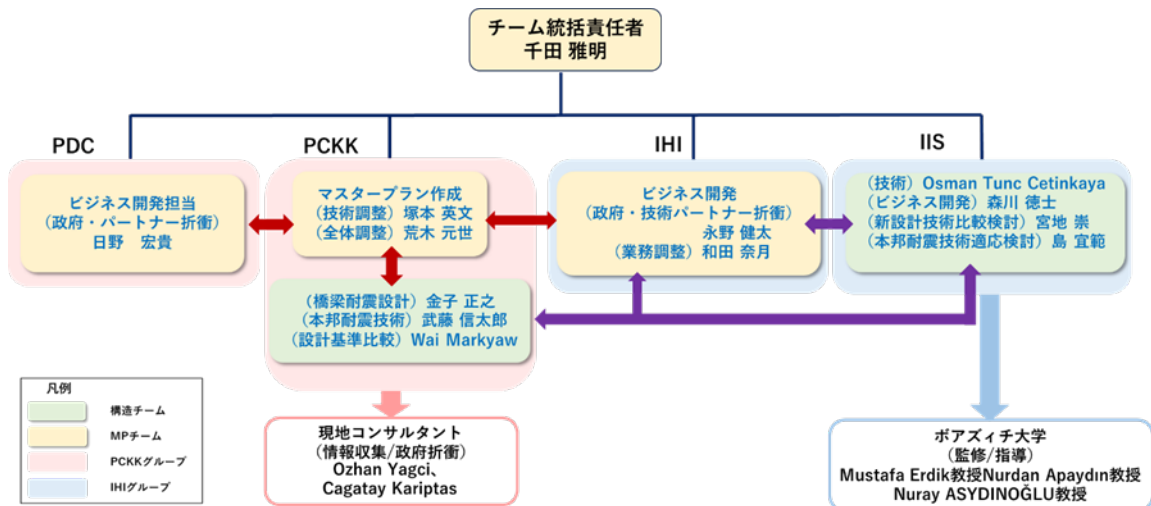


出典：調査団作成

図 2-1 実施スケジュール

2.2. 実施体制

以下に実施体制を示す。



出典：調査団作成

図 2-2 実施体制図

表 2-1 調査団員の所属先名称

略称	正式名称
PCKK	パシフィックコンサルタンツ株式会社
IHI	株式会社 IHI
IIS	株式会社 IHI インフラシステム
PDC	株式会社パデコ

出典：調査団作成

3. 実施内容

3.1. 現状評価や将来予測

(1) トルコの社会経済フレーム

トルコは 2024 年度時点で、人口約 8,566 万人を有し、国土は 780,576km²と日本の約 2 倍の面積を有す。一人当たり GDP は 15,463 米ドルで世界銀行の基準で発展途上国の目安となる 12,000 米ドルを大きく上回っており、上位中所得国に位置付けられる。近年、年率約 40%以上という高インフレが続いており、現地通貨（トルコリラ）は為替変動が大きい。比較的安定した政権の下、2024 年で年間 3.2%という経済成長率を示している¹。ここ数年、人口増加率は 1.3~0.2%/年と低下傾向にあり²、人口ボーナス時期は終わろうとしているが、緩やかな人口増加傾向にあり、将来的な EU 加盟やオリンピック開催を目指すなど、今後の経済成長も期待される。橋梁を含む道路インフラは 1970 年代から本格的に整備されはじめ、1984 年の PPP 法制定以来、有料高速道路が急速に整備された。

(2) 対象事業領域の市場環境

トルコ国内では道路網の整備が進んでいる一方で、既存橋梁の多くは積極的に耐震性能取り入れた 2019 年の KGM 技術仕様書改定以前の基準に基づき設計・施工されている。このため、今後の基準適用状況や詳細な耐震性能評価の結果によっては、一定数の橋梁について耐震性能向上の検討が必要となる可能性がある。

また、EU 加盟を見据えた欧州基準との整合性確保や、トルコ・シリア地震以降の地震リスクの低減を求める社会的要請の高まりも、今後の橋梁維持管理・耐震性能向上に関する議論を後押しする要素となっている。

KGM が管轄する橋梁リストの提供を依頼したが、情報管理上の理由により現時点では入手には至っていない。その上で、以下の検討を行った。

2016 年時点では、トルコ国内において国及び KGM が管理する高速道路橋梁は 7,983 か所（延長 505km）存在し、2003 年から 2016 年の間に 2,007 橋（年平均約 154 橋）が整備された実績がある（図 3-1 参照）。別資料によれば、2013 年時点で約 7,600 橋が存在し、2023 年までに 1,470 橋（年平均約 147 橋）を新設する計画が示されていた。これらの計画が概ね実施されると仮定した場合、2023 年時点で約 9,070 橋が存在することとなり、KGM との協議においても 2024 年時点で約 9,300 橋程度が存在するとの説明を受けている。

橋梁の耐震関連基準については、2000 年に RC 構造が見直され、2016 年に鋼構造の設計基準が制定された。さらに 2019 年の KGM の技術仕様書では、耐震設計において米国基準の考え方を参照することが示されている。このため、それ以前に設計・施工された橋梁については、現行の耐震設計基準との整合性を確認する必要がある。例えば、2003 年以前に竣工した約 5,900 橋（全体の約 65%に相当）については、今後の詳細な耐震性能評価の結果次第では、耐震性能向上の検討対象となる橋梁が一定数含まれる可能性がある。

¹ 外務省 トルコ共和国基礎データ <https://www.mofa.go.jp/mofaj/area/turkey/data.html#section1>

² UN Data Portal

<https://population.un.org/dataportal/data/indicators/51/locations/792/start/1990/end/2026/line/linetimeplot?df=60b70912-5e2a-47bc-92c3-72dad004ce47>



出典：トルコインフラ運輸省、KGM

図 3-1 トルコの高速度道路網（2016 年時点）

調査団を構成する IHI 社は、2004 年に「第 1・第 2 ボスポラス橋を含むイスタンブール大都市圏 15 か所（延長約 4.2km）の耐震補強」を対象とした円借款事業を受注し、橋梁耐震補強工事の施工実績を有している。仮に、全国の新築 20 年以上の既存橋梁約 5,900 橋のうち一定割合（例えば 1 割程度）が将来的に耐震性能向上の検討対象となる場合、過去の円借款事業の事例を単純に比例適用すれば、概算で数千億円規模の潜在的市場が想定され得る。ただし、橋梁規模・構造形式・立地条件・施工難易度により単価は大きく異なるため、これはあくまで参考的な概算であり、実際の市場規模を示すものではない。

また、橋梁の一般的な設計耐用年数は 50～60 年とされているが、耐震補強の実施時期は供用年数のみならず、劣化状況、交通重要度、地震リスク評価、予算状況等により判断される。そのため、例えば 2000 年前後に竣工した橋梁についても、一律に 2060 年までに補強が必要となると断定することはできない。仮に一定期間（例：20 年間）に分散して耐震性能向上が実施されると仮定した場合、年平均で数百億円規模の投資需要が生じる可能性があるとの試算も成り立ち得るが、これは前提条件に強く依存する推計である。

さらに、2035 年までの道路交通関連インフラ投資として 720 億ユーロ（約 12.4 兆円）の試算³が示されていることを踏まえると、仮に橋梁耐震性能向上に一定割合の予算が配分された場合でも、全体投資額に対する比率は限定的である可能性がある。ただし、耐震補強が個別の独立予算として計上されるのか、維持管理・更新予算の一部として実施されるのかによって位置づけは異なる。

耐震性能向上が検討対象となり得る橋梁数及び必要投資額については、橋梁データベースの詳細分析、優先順位付け基準の明確化、実勢単価の把握等を通じ、より精緻なデータに基づく検証が必要である。

(3) 政策動向：インフラ・道路橋梁に関する耐震施策

運輸インフラ省や KGM は、国土強靱化を優先課題に掲げるが、現行施策は新設橋梁の建設及び、震災後の被災橋梁の復旧が中心であり、既設橋梁への計画的耐震補強は重視されていない。その理由として、トルコ建設業協会の話では、トルコの高度経済成長期が 1980 年代であり、60 年代が高度成長期の日本に比べて、インフラの老朽化がそ

³ <https://www.turkiyetoday.com/business/turkiyes-transport-infrastructure-needs-over-100b-investment-by-2035-report-3205190>

ここまで進んでいないという認識であることが挙げられる。イスタンブール大都市圏の地震ハザードエリアの橋梁のうち、1990年代以前に建設された築35年以上の橋梁は3割以下と試算されるが、これに対し、日本では関東地方整備局の管轄橋梁の4割近くが築50年以上経っている⁴。

また、中央集権的な政策決定や、政府高官・省庁レベルの財源を含めた合意形成が事業化の前提条件である一方で、地方においては橋梁を所有・管轄する地方自治体では、有料道路ではないため財源確保も必要であり、中央と地方自治体でアプローチの仕方を変える必要がある。

下記に、道路橋梁耐震補強に関する政策動向として、近年の地震被害及び地震防災政策の変遷、防災体制・計画における橋梁耐震化の位置づけ、道路橋梁耐震化施策の実態について述べる。

【橋梁耐震化推進のための防災体系の把握】

1) 近年の地震被害及び防災体制

トルコの地震防災政策は1939年のエルジンジャン地震後20年を経て、公共生活に影響を与える災害による予防措置と援助に関する法律（第7269号）を採択し、その後、1988年に「災害に関する緊急援助の組織及び計画の原則に関する条例」に引き継がれた。

1999年のイズミット地震により、災害管理システムの改革の必要性が明らかになったことから、災害管理分野の抜本的な見直しを行い、災害や緊急時に単独組織で調整し、法的権限を行使できる政府機関の設立に迫られ、2009年に首相府傘下に災害緊急事態対策庁（AFAD）を設立し、地震を含めた自然災害の所掌機関となっている。また、地震を中心とした災害・緊急事態分野における将来計画のための戦略計画とロードマップの策定が重視されるようになり、2023年のトルコ・シリア地震後に策定された、包括的な復興計画 TASIP ではインフラの耐震化が取り上げられ、その考えは開発計画にも盛り込まれるようになった。

以下に主要な地震防災関連の施策・計画の概要を記す。

表 3-1 地震被害及び地震防災体制に関する変遷

策定年	施策名	概要
1939	エルジンジャン地震	
1959	公衆生活に影響を与える災害に際して講じるべき予防措置及び提供される援助に関する法律 第7269号	<ul style="list-style-type: none"> ・ 災害予防に関する基本的な法律 ・ 自然災害発生時の人々の安全確保と生活再建を目的としたもの。
1999	イズミット地震、デズジェ地震	
2003	公共財政管理法 第5018号	<ul style="list-style-type: none"> ・ 行政機関は、望ましいレベルと品質で公共サービスを提供するために、予算、プログラム、及びプロジェクトに基づいて財源を割り当てる。 ・ 適正な耐震技術を導入できれば、基本的に財源の確保ができる。
2009	災害緊急事態対策庁（AFAD）の設立	<ul style="list-style-type: none"> ・ 災害を予防し、災害による被害を最小限に抑え、災害後の対応の計画及び調整を行う。 ・ 政府機関間の協力を促進するために活動する。
2012	AFAD 国家地震戦略行動計画 2012-2023 : UDSEP	<ul style="list-style-type: none"> ・ AFAD が策定した地震リスク管理を強化し、災害に強い社会を構築するための具体的なアクションプランを策定している。 ・ 運輸インフラ省が輸送・物流施設の地震関連の規定を策定することになっている。

⁴ 国土交通省関東地方整備局、橋梁個別施設計画、2024年12月

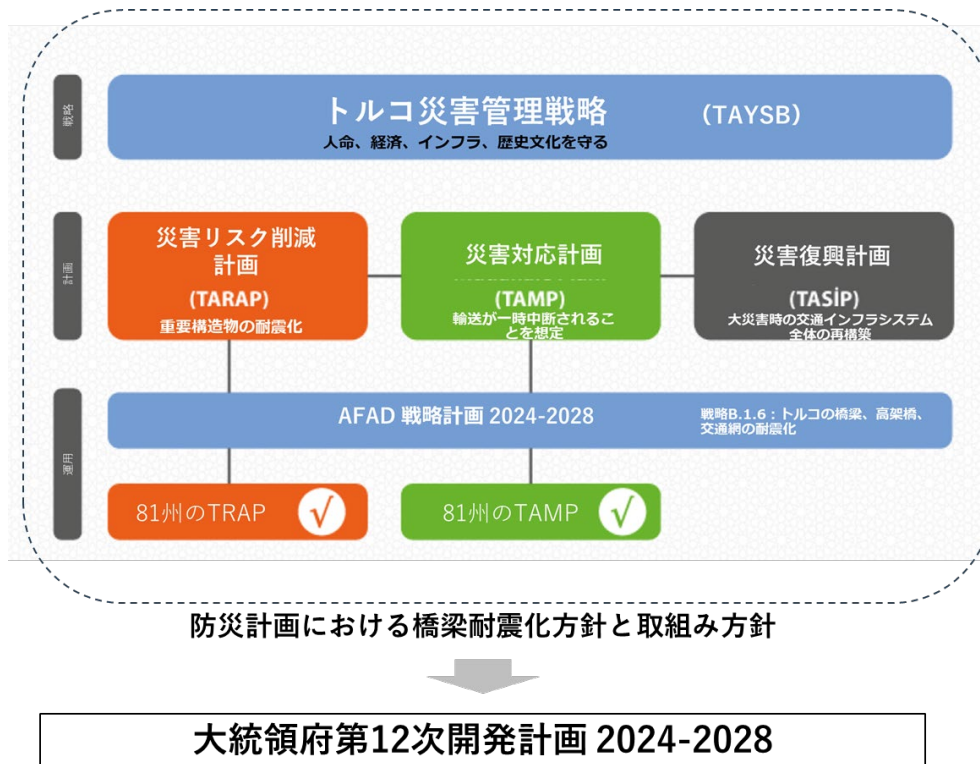
策定年	施策名	概要
2019	AFAD 戦略計画 2019-2023	<ul style="list-style-type: none"> ・ 法律第 7269 号第 3 条：地震リスク軽減研究の基礎となるソフトウェアとインフラのアップデート。 ・ 刑事訴訟公法第 36 条第 4 号：構造物の安全性を脅かす事象、特に地震の後に重要な構造物が重大な損傷を受けたかどうかを評価。 ・ 大統領令（CBK）4 条：投資の資金ニーズを決定し、年間作業プログラムを準備し、投資資金が現場に確実に提供される。
2021	大統領令 災害リスク削減計画 2022-2030: TARAP	<ul style="list-style-type: none"> ・ 災害後の「対応」だけでなく、災害前の「リスク削減（防災・減災）」に焦点を当てた新しい計画。
2022	AFAD トルコ災害管理戦略 2023-2030: TAYSB	<ul style="list-style-type: none"> ・ トルコの災害管理における最上位の戦略文書で、TARAP（リスク軽減）、TAMP（対応）、TASIP（復興）といった戦術レベルの計画は、すべてこの TAYSB の方針に基づいて策定・実行される。
2022	AFAD/内務省 災害対応計画 2022: TAMP	<ul style="list-style-type: none"> ・ 災害対応に参加する作業部隊と調整機関の役割と責任、国家レベル及び地方レベルにおける災害や緊急事態への活動を規定する内容。
2023	トルコ・シリア地震	
2024	AFAD 戦略計画 2024-2028	<p>都市インフラへの方針</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 都市の交通インフラの脆弱性を特定するために災害リスク分析を実施し、回復を促進するための投資を優先する。 ・ 災害時や緊急時に避難経路となる路線を見直すことで、予期せぬ運行中断を引き起こす災害リスクに対して都市交通システムの強靱性を高める。
2024	大統領府 第 12 次開発計画 2024-2028	<ul style="list-style-type: none"> ・ 計画の目的の一つとして「災害に強い生活圏、持続可能な環境」の創出が掲げられており、活断層の存在を意識したインフラ整備、リスク軽減と復興・復旧の改善が求められている。国及び州災害リスク軽減計画を更新し、インフラの上部構造の強靱化と財源の多様化も規定されている。 ・ 災害リスクの軽減と災害前の備え、災害時の効果的な対応による損失と被害の最小化、災害後の復旧と復興の改善を含む統合的な災害管理アプローチが採用されている。
2024	内務省/AFAD 災害後復興計画 2025: TASIP	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大規模な災害が発生した後の復旧・復興を、体系的かつ計画的に進めるための国家レベルの計画。

出典：調査団作成

2) 防災・開発計画体系

トルコにおける防災関連の政策体系は、災害管理戦略文書（TAYSB）を上位方針とし、その下位に災害リスク削減計画（TARAP）、災害対応計画（TAMP）、災害復旧・復興計画（TASIP）が位置づけられる構成となっている（図 3-2 参照）。

地震対策については、国家地震戦略行動計画（UDSEP）に基づき具体的施策が整理されており、AFAD が主管機関として 4 年ごとに戦略計画を策定している。これらの文書では、人命保護及び経済活動の継続性の確保と並び、橋梁・高架橋・道路網等の重要インフラの耐震性能向上の必要性が言及されている。国家地震戦略行動計画では、交通インフラの耐震性向上が施策の一項目として示されているが、個別橋梁の補強義務や具体的な数量目標が一律に設定されているわけではない。さらに、大統領府が策定する第 12 次開発計画においても、防災力強化及びインフラのレジリエンス向上が政策目標の一つとして掲げられており、橋梁を含む交通インフラの安全性向上は中長期的な国家課題として位置づけられている。



出典: TAMP 資料に調査団で加工

図 3-2 トルコの防災計画体系と第 12 次開発計画における橋梁耐震化の位置づけ

3) 防災計画と開発計画でのインフラ・橋梁耐震化の位置づけ

トルコは中央集権的な政策決定が行われるため、中央政府高官・省庁レベルでの政策に基づいた合意形成が事業化の前提条件である。以下にインフラ・橋梁耐震化の中央政府の政策における橋梁耐震化の位置づけを確認した。

国の防災計画、開発計画における橋梁耐震化については、防災に係る主要 4 計画（TAYSB, TARAP, TAMP, TAPIS）で主要構造物・輸送インフラの耐震化や計画上の対策が盛り込まれている。特に災害復興計画(TASIP)では復旧・復興時の既存橋梁耐震化に対するカテゴリー別の責任機関も詳細に規定されている。また、4 計画を受けた国家地震戦略行動計画では新設橋梁に対する「トルコ橋梁耐震基準等」の活用と耐震基準の標準化にも言及されている。標準化は AFAD の地震・リスク削減部局で進められており、現時点で建築関係の耐震技術標準の更新がほぼ完了し、新設インフラ施設の耐震化基準の検討を始める段階であることを確認した。また、大統領府の第 12 次開発計画でも災害に対する国土の強靱化が掲げられており、主要インフラについては各種ハザードに対するリスクアセスメント及びそれに備える補強が規定され、既存橋梁耐震化は事前復興計画として手順や所掌機関が詳述されている。

新設・既設を問わず橋梁の耐震化は国の防災計画体系に明確に位置づけられていると言え、本件の既存橋梁の耐震化は、国が進める新設橋梁の耐震化基準の更新に並走する形で、政策の対象となりうるものであり、その改善には国の期待も大きいと考えられる。具体的な各防災計画内容及び、橋梁耐震化の位置づけを以下に述べる。

4) 国家防災計画に見られる橋梁耐震関連事項

トルコ災害管理戦略 2023-2030 (TAYS)

トルコ災害管理戦略では、災害に強い社会を築くことを全体目標とし、災害管理のすべての段階（事前準備・リスク軽減、災害対応、災害後の復興）におけるビジョン、目標、戦略が定められている。

2章「災害の影響を最小限に抑える」ビジョンとして、人命、被災者、経済、インフラ・資源、歴史文化を守る目標が挙げられている。また、4章の防災モデルにおいて技術基準の原則として標準化、認定、認証の3つの段階から構成され、耐震技術の標準化が推奨されている。あらゆる災害管理システム、プロセス、人員、機器、製品、サービスについて災害に特化した基準を策定し、認定制度を構築し、認証活動を組織化することを挙げているが、本プロジェクトにおける技術基準の改良はこの原則に則っていると述べる。

ステークホルダーとして、公共機関、地方自治体、NGO、学術機関、民間セクター、メディア、個人・家族、国際機関まで幅広くとらえており、6章では、優先事項として、全てのセクターの災害の予防と軽減に重点を置き、潜在的なリスクを基に投資の増加を図り、危険に晒されている構造物の強化、改善が提案されている。これは、今回の既存橋梁の耐震化の必要性の評価と対策強化の方向性に合致する。

トルコ災害リスク削減計画 2019 (TARAP)

災害前の「リスク削減（防災・減災）」に焦点を当てた計画である。TAMP が災害対応の計画であるのに対し、TARAP は災害そのものの被害を未然に防ぐ、あるいは最小化するためのものである。各州のリスク削減計画 IRAP が TARAP の基礎になっている。SWOT 分析では、課題として防災計画の実施と資金の効率的な活用、共同作業が挙げられている。

地震災害への認識としては、各種断層と過去の地震が総括され、具体的な計画は国家地震戦略 UDSEP2012-2023 で公表されている。リスク削減の活動目標としては、地震メカニズムの解明、ハザードマップの整備、地震情報の伝達、歴史的建造物の耐震化、都市スケールの土地利用規制、重要構造物の耐震化、早期警報・建築監視システム、モニタリングが含まれる。橋梁耐震化は重要構造物の耐震化に含まれ、AFAD、文部省、保健省、地方自治体等が構造物の所管部署とされている。

トルコ災害対応計画 2022 (TAMP)

災害対応に参加する作業部隊と調整機関の役割と責任、国家レベル及び地方レベルにおける災害や緊急事態への活動を規定する施策である。計画準備プロセスの1つとして、輸送ルートや施設の被害により国が指定する箇所の輸送交通が一時的に中断される状況を想定している。食料や医薬品、暖房、住居の提供が懸念されており、脆弱な橋梁等クリティカルな施設位置を特定しておき、事前対策を立てる必要があるとされている。従って、今後の補強対象橋の絞り込みは AFAD 傘下では国と地方両方の物流・管理サービスチームと協議する必要がある。橋梁が関係する行政部門としては災害輸送、災害輸送インフラ、避難計画、災害インフラ、流通チームとの連携が必要である。

トルコ災害後復興計画 2025 (TASİP)

大規模な災害が発生した後の復旧・復興を、体系的かつ計画的に進めるための国家レベルの計画である。TASİP の主な目的と特徴は、以下の3点である。

1. より良い復興 (Build Back Better) の理念
2. 包括的・分野横断的なアプローチ
 - 住居: 仮設住宅の提供から恒久住宅の再建まで
 - インフラ: 道路、橋、水道、電気、通信などの再建
3. 計画の体系化や責任、災害後の役割分担の明確化

セクター別計画において、交通インフラについては、通常レベルの災害に対する維持管理・補強と共に、大災害時の交通インフラシステム全体の再構築が述べられている。陸上交通では道路と鉄道が取り上げられ、道路についての分類と責任機関は以下のとおりである。

- ・ 高速道路・道路橋梁はS10-T1-A1.1～1.4に分類され、(地方)評議会、内務省、運輸インフラ省、農村省が管轄する。
- ・ 道路及び橋梁の改良手順は国レベルでは運輸インフラ省(UAB)とKGMが管轄し、地方レベルでは地方自治体及び地方高速道路局が責任を持ち、レビューと検査、計画と工事費概算、入札と建設を行うこととされている。
- ・ 市町村レベルでは各自治体の評議会が、都市計画に基づいた交通ネットワークの計画及び道路建設まで責任を持ち、特別行政区では投資監査調整局(YIKOB)が国・地方自治体と同様の管理を行う。
- ・ 農林省が管轄している道路・橋梁も存在する。

本計画では国・地方自治体・特別行政区が管理する橋梁が対象になると考えられ、橋梁の被害調査と被害評価、復興の必要性(優先順位付け)、修復方針と解決策の提案、責任者の承認、入札・工事といった標準修復プロセスの計画部分において、日本側が提案する補強技術やプロセスが活用されることが想定される。

以上の防災計画を実践する施策として、防災視点として AFAD 戦略計画 2024-2028 と、地震に特化したものとして国家地震戦略行動計画 2023 があり、国家全体の開発計画である第 12 次開発計画(2024-2028)が関連する。

5) 橋梁に対する具体的な取り組み施策

国家地震防災戦略・行動計画 2012-2023 (UDSEP)

AFAD が主導して、地震リスク管理を強化し、災害に強い社会を構築するために策定した具体的なアクションプランである。運輸インフラ省が輸送・物流施設の地震規制を策定することになっており、耐震基準に関する「トルコ国橋梁地震規則」が策定されている。行動計画は地震の理解、耐震住宅・建設、地震の影響への対処等の 3 分野で構成され、各目標が掲げられている。耐震住宅・建設の戦略として橋梁、高架橋、交通網、及び地中または地上のライフライン配電システム(パイプライン、天然ガス管、電力網、通信システムなど)に関する建設技術の実践に基づき、耐震安全性評価及び建物の耐震補強のための手法を開発、標準化、実施するとされ、本件の趣旨と合致している。

具体的なアクションとしては、AFAD が中心となり、当該分野の専門知識を有する研究者と公的機関・団体の専門家からなる委員会を設置し、耐震基準の更新に関しては現状の耐震基準を Eurocode8 (地震に対する設計基準)に準拠させることが提示されている。予定では 2026 年までに改定されるが、現時点では建築物の耐震基準の改定が進み、これからインフラに移行する状況である。その他、運輸省を中心に研究、実施、支援の各機関及び団体の代表者から構成される調整協議会を設置し、主に 1970 年以降に建設された橋梁、高架橋、交通網、地中または地上のライフライン配電システム(パイプライン、天然ガス管、電力網、通信システムなど)に関する建設技術の実践に基づき、耐震安全性評価及び建物の耐震補強のための手法を開発、標準化、実施することが規定されている。さらに開発省が中心となり指導的研究開発プロジェクトの立ち上げも推奨されている。

AFAD 戦略計画 2024-2028

AFAD の災害対応力を強化するために策定された、5 年間の包括的な施策である。都市の交通インフラの脆弱性を特定するための災害リスク分析を実施し、回復を促進するために投資を優先させることとしている。災害時や緊急時に避難経路となる路線を見直すことで、予期せぬ運行中断を引き起こす災害リスクに対して、都市交通システムの強靱性を高めることを目指している。法的な整理として、以下が挙げられている。

- ・ 地震リスク軽減研究の基礎となるソフトウェアとインフラのアップデート。

- ・ 建造物の安全性を脅かす事象、特に地震の後に重要な建造物が重大な損傷を受けたかどうかを評価するための動的測定データの収集。
- ・ 建設資金ニーズを決定し、年間作業プログラムを準備し、投資資金を現場に確実に提供する。
- ・ 災害による被害を受けたインフラを大統領府からの資金を基に、地方自治体が復旧する。

また、第 12 次開発計画から、以下の方針が引用されている。

- ・ 886.1.都市の交通インフラの脆弱性を特定するために災害リスク分析が実施され、回復力を高めるための投資が優先される。
- ・ 886.2.災害時や緊急時に避難経路となる路線を見直すことで、予期せぬ運行中断を引き起こす災害リスクに対して都市交通システムの強靱性を高める。

AFAD の組織構造は以下であり、橋梁の耐震化は地震・リスク軽減部局の防災・減災対策室が担当している。



出典：AFAD 戦略計画

図 3-3 AFAD 組織図

大統領府 第12次開発計画 2024-2028

大統領府より示された5年ごとの開発計画で、目的の一つとして「災害に強い生活圏、持続可能な環境の創出」が掲げられており、活断層の存在を意識したインフラ整備、リスク軽減と復興・復旧の改善が求められている。

- ・ 国及び州災害リスク軽減計画を更新し、インフラの上部構造の強靱化と財源の多様化を目指す。
- ・ 災害リスクの軽減と災害前の備え、災害時の効果的な対応による損失と被害の最小化、災害後の復旧と復興の改善を含む統合的な災害管理アプローチを採用する。

後半では、災害に強靱な住空間、持続可能な環境の構築に向けた具体的な活動として以下が挙げられている。

- ・ 既存及び新規のあらゆるインフラと上部構造の災害に対する強靱性の確保のため、重要インフラ及び上部構造は、国レベルでその種類に応じて分類され、複数の災害ハザードに基づいてリスクが評価され、必要な補強が行われること。
- ・ インフラを複数の災害から守る適正な維持管理が提唱され、既存橋梁の耐震化もこれらに含まれる。

6) 既存橋梁耐震化の実施状況

トルコ・シリア地震で被災した一部の高架橋の原設計・復旧工事には免震・制震技術が取り入れられている。運輸インフラ省や KGM は、国土強靱化を優先課題に掲げるが、現行施策は新設橋梁が中心であり、災害復旧での橋梁の耐震化は推奨されているが、既設橋梁への耐震補強の計画（方針やロードマップ等）は未整備で、橋梁管理者である KGM や地方自治体の裁量に任されている。2014-1016年のイスタンブール大都市圏での日本の円借款による耐震補強以外に、KGM では全国で10か所程度の耐震補強が必要な箇所があり、順次補強しているとのことであった。

技術基準としてはトルコ橋梁耐震基準 TBDS 2020 があるが、新設橋梁に関する耐震基準であり、既存橋梁の耐震補強事業は、実際に耐震補強が必要な橋梁箇所や状態などを把握するところから始める必要がある。また、古い既存橋梁の中には図面が保存されていないものが多く、現状の耐震性の判定が難しいことも、耐震化が進まない原因の一つである事が判明し、それらの対応も添付資料として含める必要がある。

(4) 政策動向：本邦支援と他国ドナー支援状況

【耐震補強を実施する上でのトルコ側の課題の想定】

1) 中長期的計画の把握

トルコにおいて既存橋梁の耐震補強を本格的に実施するためには、①国家レベルでの中長期的な防災投資の位置付け、②財源確保の方針、③優先順位付けの明確化が前提となる。このため、本邦の対トルコ支援方針の変化が、耐震補強分野との整合性を持ち得るかを確認することが重要である。

外務省の国別開発協力方針は、現時点では2018年版が最新である。一方、「トルコ共和国 JICA 国別分析ペーパー2025年3月」（以下「国別分析ペーパー」）では、重点分野の改定案が示されている。

同ペーパーでは、新たに「防災・災害対策能力の向上」が重点分野として位置付けられている。これは、トルコが地震多発国であり、近年の大規模地震を受けて、防災能力の強化が国家的課題となっていることを踏まえたものと考えられる。一方で、従来の「都市環境改善プログラム」に含まれていた「都市インフラの整備・改善」は、改定案では「環境改善プログラム」として整理されており、橋梁等の大型インフラ整備から、上下水道・排水処理等のライフライン分野へ重点が移行する可能性が示唆されている。

この点を踏まえると、橋梁耐震補強のような既存インフラの耐震化は、単純なインフラ整備事業としてではなく、「防災・災害対策能力向上」の文脈の中で、事前防災投資や強靱化施策として位置付ける必要があると考えられる。

〈先方政府の開発計画〉	〈改定案：国別開発協力方針骨子案〉			〈現行：国別援助方針〉		
	戦略的パートナーシップの深化			持続可能な経済成長のための支援を通じた戦略的パートナーシップの深化		
第12次開発計画 (2024～2028)	重点分野(4)	開発課題(4)	協力プログラム(7)	重点分野(4)	開発課題(5)	協力プログラム(7)
安定した成長、強力な経済	経済を支える持続可能な社会基盤づくりへの支援	社会基盤の強化	環境改善プログラム	経済を支える強靱な社会基盤づくりへの支援	社会基盤の強化	都市環境改善プログラム
環境に優しくデジタル変革による競争力のある生産			科学・産業技術高度化プログラム			科学・産業技術高度化プログラム
能力のある国民、強い家庭、健康な社会			地域開発プログラム			地域開発プログラム
災害に強い生活空間、持続可能な環境	防災・災害対策能力の向上	防災・災害対策能力の向上	防災・災害対策能力の向上プログラム	防災・災害対策能力の向上	防災・災害対策能力の向上	防災・災害対策能力の向上プログラム
民主的で公正なガバナンス	協力パートナーとしての戦略的連携強化	協力パートナー戦略的関係強化	民間セクター連携強化プログラム	民間セクターの活躍支援	民間セクターの活躍支援	民間セクター連携強化プログラム
	支援を必要とする人々・その受入れコミュニティへの協力・支援	支援を必要とする人々・その受入れコミュニティへの協力・支援	三角協力プログラム	開発パートナーとしての連携強化	開発パートナー関係強化	三角協力プログラム
	支援を必要とする人々・その受入れコミュニティへの協力・支援	支援を必要とする人々・その受入れコミュニティへの協力・支援	支援を必要とする人々・その受入れコミュニティへの協力・支援プログラム	シリア難民問題対策への支援	シリア難民問題対策への支援	シリア難民問題対策支援プログラム

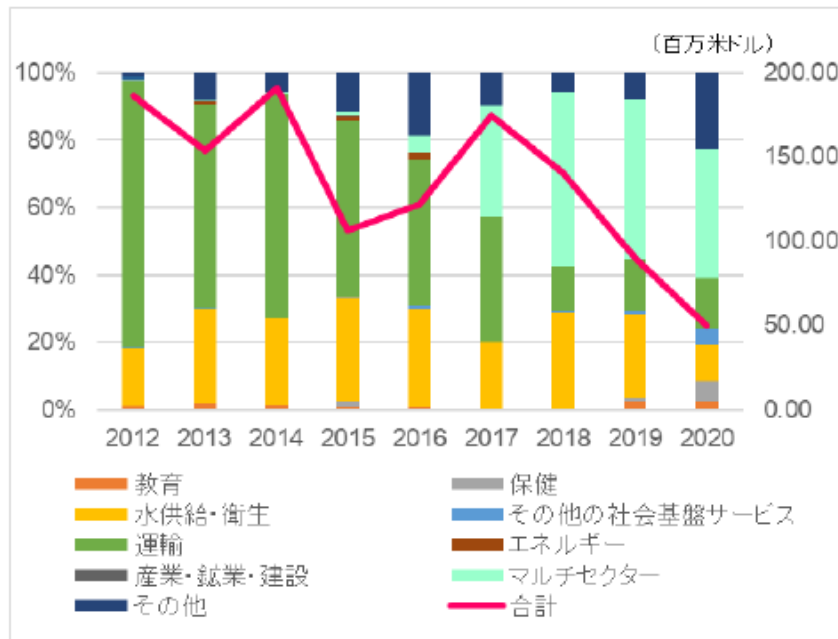
出典：トルコ共和国 JICA 国別分析ペーパー-2025年3月

図 3-4 JICA 国別分析ペーパーの三層構造の新旧対比

一方、「トルコ国別評価（第三者評価）報告書 2023」⁵（以下「国別評価報告書」）によれば、本邦の ODA によるセクター別支出実績は、2012 年～2016 年では、地下鉄建設や道路・高架橋の建設を含む運輸セクターの支出が突出しているが、2017 年～2021 年にはマルチセクターでの支援を含め、保健、教育等様々な分野に対し、幅広く支援を実施しており、運輸セクターの支出は急激に削減されていることが述べられている。また、図 3-5 からわかるように、トルコへの合計の支出額も 2014 年のピークから 1/4 程度に支援規模は縮小しているが、トルコの一人当たり GNI が上昇し、ODA 卒業国に近づいていることが主要因の一つである⁶。

⁵ 「令和 4 年度外務省 ODA 評価 トルコ国別評価（第三者評価）報告書 2023」一般財団法人 国際開発機構

⁶ (Summary) JICA Country Analysis Paper for Republic of Türkiye, 2025, JICA



出所：OECD Statistics データベースを基に評価チーム作成

出典：トルコ国別評価（第三者評価）報告書 2023

図 3-5 セクター別日本の対トルコ ODA 支出実績

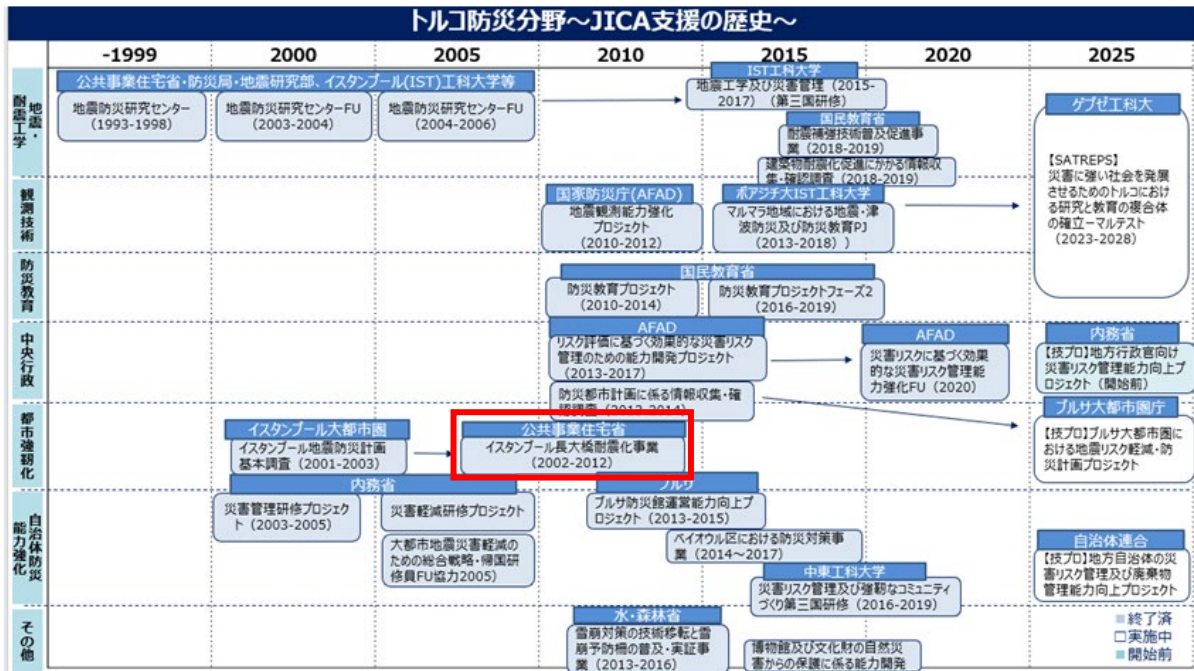
2) 本邦支援による関連プロジェクト実施状況

橋梁に関連する事業は下記の表の通りである。2002 年に特別円借款を活用し、防災の都市強靱化事業としてイスタンブール広域都市圏内の 15 橋梁の耐震補強が実施されたが、2018 年に出されたトルコの開発協力事業展開計画を含め、その後、一般の橋梁事業への円借款は実施されていない。

表 3-2 日本による橋梁関連事業の概要

実施年	概要
1988	ファーティハ・スルタン・メフメット橋（第 2 ボスポラス橋）建設（円借款）。
2002	イスタンブール大都市圏内の 14 橋梁の耐震補強設計・施工・監理（特別円借款）。「免震」という概念を初めてトルコに導入。
2016	日・トルコ橋梁技術セミナー。 長大橋の建設技術、耐震技術、維持管理技術など、橋梁分野における相互の理解、協力の深化を図る機会とするとともに、トルコにおける橋梁プロジェクトの実施に向けた日本の橋梁技術の PR と信頼の向上、道路・橋梁分野における日・トルコ間の官民での協力関係、人的ネットワークの醸成を図ることを目的としたもの。

出典：調査団作成



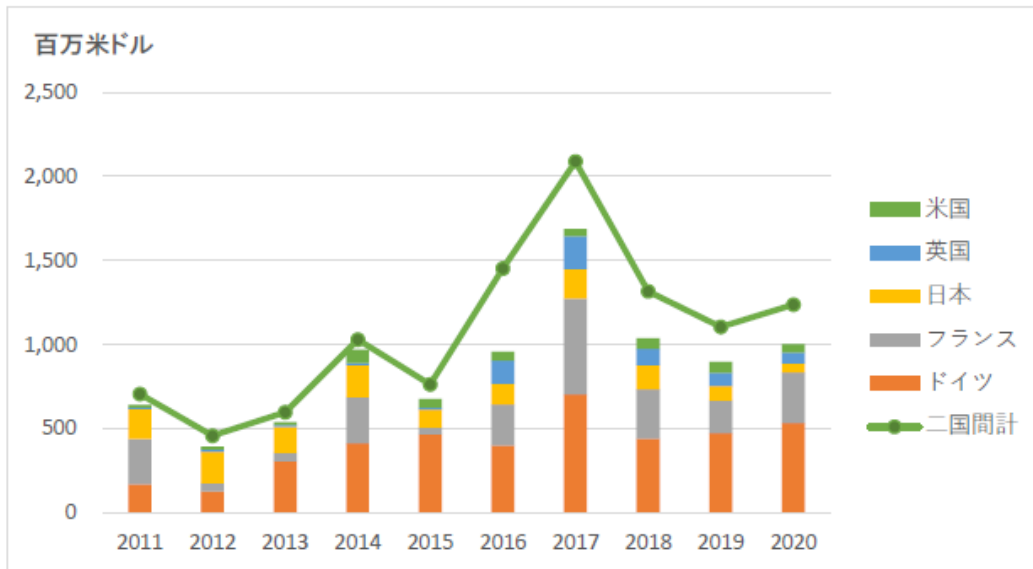
出典：トルコ共和国 JICA 国別分析ペーパー-2025年3月

図 3-6 防災・災害対策能力の向上のための過去の協力の歴史

3) 海外ドナーによる ODA 実施状況の調査

海外ドナーによる国別の支援は、2011～2012年では、日本の支援規模が割合としては大きかったが、2013年以降はドイツの支援が圧倒的に多く、次いでフランスとなっている。

ドイツ及びフランスは、エネルギー、インフラ分野に加えて金融分野等で協力を展開している。



出所：OECD Creditor Reporting System

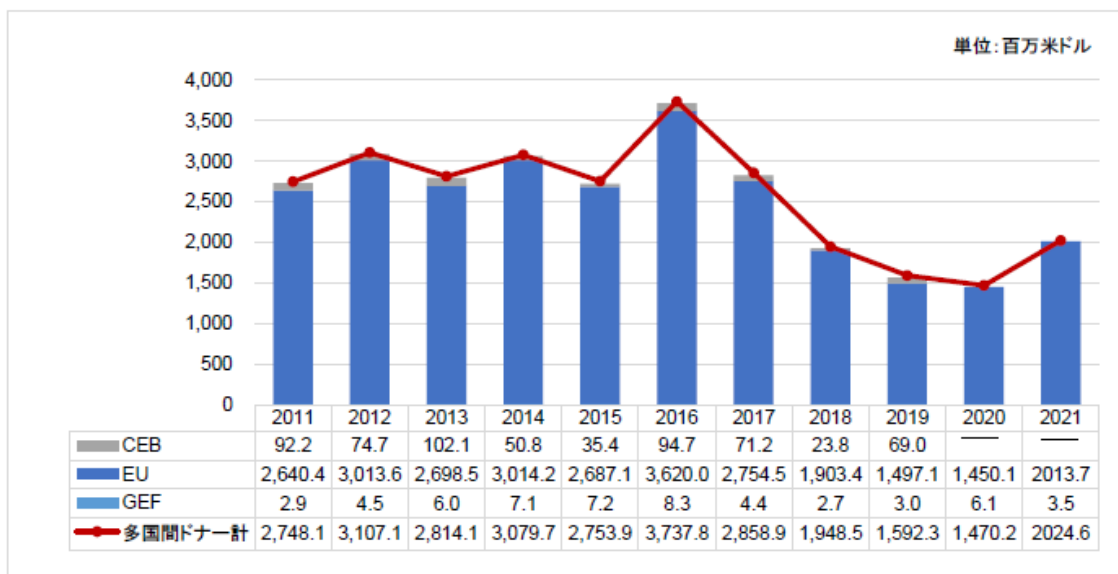
出典：トルコ国別評価 (第三者評価) 報告書 2023

図 3-7 対トルコ二国間 ODA の推移 (支出総額ベース)

近年、トルコへの最大ドナーであるドイツの対トルコ二国間 ODA は、ドイツ連邦経済協力・開発省(BMZ)が、ドイツ国際協力公社 (GIZ) ⁷や、ドイツ復興金融公社 (KfW) ⁸等の実施機関を通して実施している。

ドイツのKfWは、BMZの委託を受け、25年間にわたりトルコ全土の都市で、給水、下水処理、廃棄物処理を中心としたインフラ整備事業に融資している。これらの自治体向け事業は、環境保護（特に河川や地下水の浄化）と地域住民の健康増進を目的としているが、その目的は、トルコのインフラをEU基準に近づけることである。

これまでKfWはドイツ政府の支援を受けて、自治体インフラ分野の約20件のプロジェクトに約10億ユーロを提供しており、今後も更にプロジェクトを実施する予定である。また、GIZは、トルコに対し、他国からトルコへの移民の受け入れ支援、公共サービス、気候変動の分野に焦点を当てたプロジェクトを実施する方針としている。



出所：OECD Creditor Reporting System *2020年、2021年のCEB数値は不明。

出典：トルコ国別評価（第三者評価）報告書 2023

図 3-8 主な多国籍ドナーによる対トルコ援助額推移（支出総額ベース）

その他の近年の海外からの投資のトピックとしては、中国が主導するアジアインフラ開発銀行（AIIB）が、2024年9月にトルコ・シリア地震からの復興事業として「トルコ緊急道路復旧・再建」に200億米ドルの借款を承認している。トルコの交通セクターにおけるAIIBの初めての案件であり橋梁も含まれることから、今後の橋梁案件への投資動向が注目される。⁹

⁷ ドイツ国際協力公社 (GIZ) <https://www.giz.de/en/regions/europe/turkiye>

⁸ ドイツ復興金融公社 (KfW Entwicklungsbank) HP : https://www.kfw.de/About-KfW/Newsroom/Latest-News/News-Details_8955.html

⁹ AIIB <https://www.aiib.org/en/news-events/news/2024/AIIB-Commits-USD200-Million-to-Support-Turkey-s-Earthquake-Recovery.html>

(5) 既存橋梁耐震補強の技術動向

【技術動向の変遷】

- ・ 1999年イズミット地震後、2002年にJICAによるイスタンブール大都市圏地震防災計画で、既存橋梁耐震化の必要性と優先順位付けの必要性が提示された。
- ・ 1999年にデュズジェ地震で被災したボル高架橋の耐震補強で、高度な免震技術が取り入れられた。
- ・ 2004-2010年に、円借款によりイスタンブール大都市圏の環状1号線の既存橋梁耐震補強がIHIの施工により実施され、日本の免震・制震技術が適用された。
- ・ 2021年にトルコ橋梁耐震基準が導入された。
- ・ 2023年のトルコ・シリア地震の橋梁の被災状況が調査され、様々な復旧技術が実践された。

【技術動向の考察概要】

- ・ トルコの橋梁耐震基準（TBDS 2021）を日本の耐震技術基準と比較した結果、日本の基準が採用されている部分もあり、十分な耐震性能を確保できる基準である。
- ・ トルコ・シリア地震での2000年ごろに施工された橋梁・高架橋の被災状況では、支承などの弾性挙動後への対応や、高架橋に見られる長周期構造物の想定外の大きな地震の振動により、伸縮継手やダンパーが破損したり、支柱の座屈が発生したりしている。また、斜橋や一部のPC橋では、床板の変位により橋台から外れ落橋しているケースが見られた。
- ・ 同地震での高架橋のダンパーの破損に関しては代替品が無く、支柱と基礎の補強も困難であり支承部に免震装置を組み込み、構造自体を改変して補強している。
- ・ 支柱の巻立て工法は、橋脚及び基礎周囲に足場や作業ヤードを確保する必要があり、都市部の密集地域や交通量の多い交差点付近では施工スペースが不十分な場合が多い。山岳地帯の長大橋や巨大な橋脚では、巻立て材の運搬・設置に高いコストがかかり、経済性が低下するケースもある。

【日本の耐震技術の位置づけ】

- ・ KGMでは耐震補強の技術に自信を持っている。現地でトルコ建設協会と設計会社等にヒアリングしたところ、耐震補強が必要な橋梁は多数あるが、予算の確保がなされていないと認識されていた。既存橋梁耐震補強の設計・施工を適切にできる設計・施工会社は限られており、紹介した日本の免震・制震技術は現地技術者にとっても新規技術という認識であり、日本企業は技術の優位性を持つと考えられるが、円借款事業以外では未導入である。
- ・ 日本の免震・制震技術は、上記のような場合に備えフェールセーフの思想で計画・設計されており、落橋という最悪の事態を避けることと、本来の機能が損傷した場合の補強にも配慮している。
- ・ ヒアリングによると、日本の「狭隘スペース対応型」や「短期施工型」の補強工法は、大規模な施工ヤードを不要とし、都市部の密集地域でも長期的な交通規制を避けられるため、現地の慢性的な渋滞の発生や市民生活への影響を最小化するニーズに応えられると考えられる。
- ・ ヒアリングによると、競合はトルコ国内企業である。国内業者の技術レベルは高く、コストに見合った技術競争力を有しないと、トルコ市場に入れない。低コストでのケーブル設計を売りにする台湾の企業は存在するが、現地化による実績の積み上げや企業としての信用が受注のカギとなる。

1) 現在適用されている技術基準

【トルコ橋梁耐震基準（TBDS 2020）】

トルコの橋梁技術の基準は 1979 年のプレストレストコンクリート構造物の設計及び施工に関する規格 TS 3233 にさかのぼり、それ以前は国内の技術基準が制定されていないため、橋梁の耐震性は不明である。1982 年、1989 年には KGM が技術仕様を発行し、技術基準を整備してきた。

先に述べた、運輸・インフラ省の「輸送・流通施設向け耐震基準策定」プロジェクトの成果として、橋梁・道路関連ではトルコ橋梁耐震基準 TBDS 2020 と高速道路技術仕様書 2023 が制定され、建築関係では建築設計耐震基準 TBDY 2018 が制定された。その他、鉄道、港湾・空港、物流施設向けの耐震設計基準と既存建築施設の耐震診断・補強指針を合わせて 7 つの規則が公布・施行されている。その他、基本的な鋼構造・RC 構造の設計基準を含め、橋梁耐震補強に関係する設計・施工基準は以下の表のとおりである。トルコ橋梁設計基準では、本件で取り上げる免震装置や制震ダンパーも含まれているが、基本的に新設橋梁の適用基準であり、既存橋梁の耐震性強化に使用するには、既存橋梁の耐震性の評価や限られた条件での施工方法などの検討が必要になる。また、現在 AASHTO¹⁰の基準に準拠しているが、今後は Eurocode8 に準拠させる動きもある。

表 3-3 橋梁耐震補強に関する設計・施工技術基準

策定年	施策名	概要
1979	プレストレストコンクリート構造物の設計及び施工に関する規格 TS 3233	・トルコ規格協会が策定した PC 橋梁と床板の規格。 ・長年使われている。
1982	道路橋の技術仕様	・KGM が策定した橋梁建設工事の技術仕様。 ・KGM の初期の技術文書。
1989	高速道路技術仕様 (Fenni Şartname)	・KGM の技術仕様。 ・道路、土木構造物、橋梁、トンネル等を対象とする。
2000	鉄筋コンクリート構造設計・施工規則 Reinforced Concrete Structural Design and Construction Rules TS500 TSE (トルコ標準化機構)	・RC 構造物の設計・施工に関する技術基準。 ・策定機関：トルコ標準化機構 (TSI)。
2006	高速道路技術仕様 KTS 2006	・KGM の技術仕様。 ・土木構造物、橋梁、高架橋。
2013	高速道路技術仕様 KTS 2013	・KGM の技術仕様。 ・コンクリートのクラス、鉄筋、及び施工要件の更新。
2016	鉄骨構造設計・施行規則 Steel Structures Design and Construction Codes	・鉄骨構造物の設計・施工に関する技術基準。 ・耐震性と構造安定性を重視。 ・策定機関：環境都市省 (MoEU)。
2018 制定	トルコ建築耐震設計基準 TBDY 2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği)	・建築物向けの耐震設計基準。 ・2007 年の耐震基準を大幅に改定したもの。 ・耐震診断と補強、設計地震動の設定、補強設計の考え方。
2019 KGM	高速道路 最終・予備プロジェクト エンジニアリングサービス技術仕様書 (2019 年) (KARAYOLARI KESİN ve ÖNPROJELERİ MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ TEKNİK ŞARTNAMESİ)	高速道路の新規建設または改良プロジェクトにおける、予備設計から最終（実施）設計までのエンジニアリングサービスに関する包括的な技術仕様書 防災・耐震に関する主な規定は以下の通り。 1. 耐震設計について：トルコが地震多発国であることを反映し、構造物に対して耐震設計が義務付けられている。10m 以上の橋梁には耐震構造設計

¹⁰ 米国道路交通運輸行政官協会。American Association of State Highway and Transportation officials の略称

策定年	施策名	概要
	2019)	算が求められ、米国の橋梁仕様（AASHTO の道路橋技術仕様書）に準拠し、活荷重クラスの選定、地震加速度係数等は担当所管部局の仕様書によるとされている。 2. 地すべり・斜面災害対策：山岳地帯が多いトルコの地理的条件を考慮し、斜面の安定性確保に重点が置かれている。 3. 水害（洪水）対策：豪雨や河川の氾濫による道路への被害を防ぐため、水理・水文に基づいた設計が要求されている。
2021	トルコ橋梁耐震基準 TBDS 2020 (Turkie Bridge Earthquake Code) Türkiye Köprü Deprem Yönetmeliği	KGM が国家地震戦略行動指針 2012 に基づいて Official Gazette として、Earthquake Regulation for Transportation and Distribution Facilities として 7 つの規制を整備したものの 1 つ。日本の JRA 高速道路橋梁の仕様を参照している。免震装置として、低減衰型および高減衰型エラストマー軸受、鉛プラグ入り積層ゴム支承（鉛ゴム軸受）、平面スライダーおよび曲面スライダー、ならびに金属ダンパーおよび粘性ダンパーの 6 種類の適用方法が記載されている。
2023	高速道路技術仕様書（2023 年） (Karayolları Teknik Şartnamesi 2023)	道路建設に関わるあらゆる工程、材料、品質基準を網羅した一連の技術基準書。これまで分野ごとに発行・更新してきた多数の技術仕様書を統合・体系化したものである。当基準は道路橋、鉄道橋、トンネル、地中構造物について、耐震設計基準として、設計地震と応答スペクトル、構造物の分類、解析手法の選定、免震・制震装置の規定、信頼性計数による補正、補強設計と性能評価が述べられている。
2024	トルコの橋梁設計基準（＝地震作用下における道路橋・鉄道橋の評価及び設計に関する規則）、技術体系（Turkish Bridge Design Standard） ・トルコ絶縁・制震橋梁地震規制（Seismic Isolated Bridge Design Specifications）は上記の一部を示す。	最新の橋梁、ライフラインの包括的な設計基準。耐震性能は以下の内容で構成。 1. 橋梁の分類、重要度 2. 耐震設計基準 設計地震：基本は 2,475 年再現周期の地震（EN1998-2 と同様） AASHTO 基準では 1000 年、最大 2500 年再現周期も考慮。 近接断層の影響：活断層から 25km 以内の橋梁には増幅係数（例：短周期 1.2、長周期 1.3）を適用。 解析方法：簡易解析（SA）、モーダル組合せ解析（MCA）、非線形時刻歴解析（NLTHA）、橋梁の重要度と複雑性に応じて選定。 3. 免震・エネルギー吸収装置 TBDS では、以下のような免震装置と減衰装置が規定されている： 装置の種類：高減衰ゴム支承、鉛ゴム支承、摩擦振り子型免震装置（上下で摩擦係数が異なる場合は拘束リングが必要）、金属・粘性ダンパー（エネルギー吸収能力を数式で評価）。 設計・試験要件：最小変位容量、サイクル耐久性、適応的な力-変位特性の評価。 4. 国際基準との耐震基準技術内容の比較 AASHTO GSID（米国）、EN15129（欧州）、ASCE 7-16（米国）。

出典：調査団作成

2) 耐震基準の改定と耐震補強技術の導入の事例

耐震基準の改定と耐震補強技術の導入事例として、以下の3事例を挙げる。これらの事例と耐震基準の改定時期を時系列で捉えた場合、政策変更の結果として耐震基準が改定され新規技術が導入されたというよりも、実際の被災時の復旧及び地震リスク低減のための事前投資として耐震補強の技術検討がなされ、それらの積み重ねが耐震基準の改定の背景となっていると考えられる。また、被災時の復旧には改定された、被災前より厳しい耐震基準が適用されている。以下、それぞれの事例を記す。

① ボル高速道路高架橋 (1999～2007)

1999年8月のイズミット地震に続き、11月にイズミットから東へ100km程度の地点ボルの活断層でデュズジェ地震が発生した。欧州横断高速道路(TEM)規格であるボル高架橋は約2.3kmで59径間あり、地震時には95%が完成していたが、橋脚が断層をまたいでおり被災した。原設計にベアリングを用いた耐震滑り支承や伸縮ダンパーを導入していたが、想定地震加速度0.54gに対してマグニチュード7.2の地震は0.8gの地震加速度を引き起こし、支承やベアリングが破損したが、崩落は免れた。

KGMからG.M. Calvi氏をはじめとするイタリアのコンサルタントに橋梁補強設計が発注され、地震加速度は2000年周期の0.81gに改められ、中空鉄筋コンクリート橋脚は一部の補強と基礎杭の追加で補強した。また、イギリスのHigh-Point Rendel社に免震装置の調査が発注され、摩擦振り子式ベアリング支承が採用された。これらの技術を導入して高架橋は2007年に供用開始され、それ以降想定されたような地震はないものの、免震技術を採用した橋梁耐震補強の草分けと位置付けられている¹¹。

② イスタンブール大都市圏長大橋耐震化事業 (2002-2011、工事2004-2010)

1999年のイズミット地震後の研究によりイスタンブール大都市圏近くのマルマラ海の海底に活断層が発見され、イスタンブール大都市圏近郊での大地震の発生確率が高いと認識され、イスタンブール大都市圏の主要環状道路及び第1・第2ボスポラス橋、ゴールデンホーン橋の地震被害調査がなされた。重大な被害は見られなかったが、これらの橋梁が建設された1970年代当時の想定地震加速度の0.1g～0.3gを見直し、また想定地震はイスタンブール大都市圏から20-30km地点でマグニチュード7.4とし、想定地震加速度は0.4g、設計地震加速度は0.69～0.88gと設定された。当時JICAイスタンブール大都市圏防災基本計画において、緊急時の環状道路機能維持のため、代替ルートが無いルート上の橋梁の耐震強化が指摘されており、トルコ政府は日本政府に円借款事業の要請を行った。

当事業はトルコ国とKGMが実施機関となり、本体契約はIHI社、コンサルタント契約は日本構造橋梁研究所により実施された。採用された技術は以下の表に整理するが、事業評価報告書によると、事業実施中の事業管理や工事業者による研修や、邦人コンサルタントと共同での詳細設計のレビューや施工監理などで、KGMの耐震補強技術・知識の向上が図られたとされている^{12,13,14}。詳細は後述する3)イスタンブール大都市圏長大橋耐震化事業現地調査を参照。

¹¹ Hamid Ghasemi, Bolu Viaduct: Damage Assessment and Retrofit Strategy, 2004

¹² イスタンブール大都市圏長大橋耐震補強プロジェクト, Civil Engineering Consultant, Vol.224 July 2004

¹³ イスタンブール大都市圏における耐震補強工事の設計・施工, IHI 技法 Vol.50 No2, 2010

¹⁴ イスタンブール大都市圏耐震強化事業, JICA 有償資金協力 事業事後評価, 2013

表 3-4 イスタンブール大都市圏長大橋耐震化事業の導入技術

橋梁名称	Ortakoy 高架橋	Golden Horn 橋	Mecidiyekoy 陸橋	第 1 ボスポラス橋
在来技術	新設 PC 橋脚の構築 新設 PC 横梁の構築 新設 PC 横梁の反力移行	橋脚鋼板巻立て補強 フーチング増厚 桁がかり長確保 支承取り換え 伸縮装置の取り換え 横桁補強 (旧橋)	1 本柱 : RC 巻立て補強と横梁の新設 2 本柱 : 鋼板巻立てと基礎のコンクリート巻立て	ハンガープレート交換
免震・制震技術等	落橋防止装置設置 伸縮装置設置	落橋防止装置設置 変位制御装置設置 ダンパー設置	免震支承付属品の導入 ゲルバー部へのロックアップデバイスの設置	制震ダンパー設置 落橋防止装置設置

出典：脚注¹³資料を基に調査団作成

③ トルコ・シリア地震における橋梁復旧・耐震補強状況 (2023-実施中)

2023 年 3 月のトルコ南東部の地震では、日本からも被災状況の調査団が派遣され、斜橋や PC 桁橋の落橋などが報告されている¹⁵。中でも、Tarsus-Adana-Gaziantep 高速道路 (TAG 高速) 沿いの 14 か所の高架橋の内、5 か所は断層から 200m 余りの距離に位置し、被災橋の復旧・補強工事が行われている。

2000 年前後に施工されたこれらの高架橋の設計重力加速度は 0.4g 程度であり、マグニチュード 7.8 の地震で 0.6-0.7g の重力加速度に見舞われたが、橋梁の倒壊は起こらなかった。イズミット地震以降、KGM は既存橋梁の耐震評価や設計基準の改定準備を推進し、米国の AASHTO 基準のトルコの適用版を策定し、重力加速度は 0.4g を導入しており、落橋を免れた点はその効果が発揮されたと言える。また、復旧・耐震補強にはトルコ橋梁耐震基準 (TSDS2020) とトルコ橋梁設計基準 2024 が参照されていると想定される。以下、それぞれの高架橋で採用された技術を整理するが、すべてアンカラの PONTEM Engineering の設計である。詳細は後述する 4)トルコ・シリア地震の被災橋梁の復旧状況文献調査、5)トルコ・シリア地震の被災橋梁の復旧状況現地視察を参照。

表 3-5 トルコ・シリア地震における橋梁復旧・耐震補強導入技術

橋梁名称	Ataturk 高架橋	Turgut Ozal 高架橋	Nurdagi 高架橋	Sehitler 高架橋	Baspinar 高架橋
耐震補強設計者	PONTEM Engineering (トルコ)				
被災状況	橋の両端のバンパーとの伸縮継手の破損 両側アプローチの沈下	橋の両端のバンパーとの伸縮継手の破損、摺動面の破損	円形支柱への塑性ヒンジの発生によるコンクリートの剥離、主縦筋の座屈 鋼製桁の座屈	円形支柱への塑性ヒンジの発生	同左 伸縮継手の破損

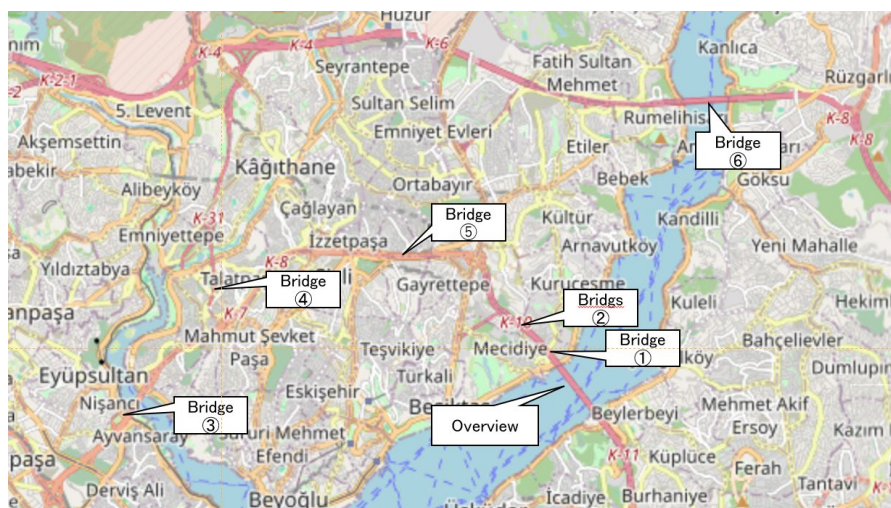
¹⁵ 井上・服部・小野・庄司、2023 年 2 月トルコ南部地震で被災した者協の現地調査と地震応答解析に基づく落橋要因分析、土木学会論文集 vol 80, No.13, 23-13110, 2024

	上部構造、支柱、基礎には被害なし		伸縮継手の座屈 構造物端部の損傷		
導入技術	バンパーが製造中止であったため、支柱上部に免震装置を挿入 縦方向への粘性ダンパーの追加設置	同左 設計地震加速度0.983g	支柱鋼板巻立て補強 フーチング増厚	転倒防止器具の設置 支柱の単層または二層複合繊維強化ポリマー被覆 基礎の強化	支柱鋼板巻立て補強 基礎の強化

出典：「トルコ・シリア地震の被災橋梁の復旧状況文献調査」内容を基に調査団作成

3) イスタンブール大都市圏長大橋耐震化事業現地調査

1999年のイズミット地震を受けて、イスタンブール大都市圏が事前復興計画として、災害時の緊急輸送道路を想定した。市の主要環状道路上にある第1ボスポラス橋、第2ボスポラス橋、ゴールデンホーン橋に代替ルートが無いことから、10-30年前の建設時の耐震基準に対し、最新の耐震性を持たせる工事が円借款事業として計画され、技術提案によりIHI社が受注したものである。施工は2004-10年に行われ、免震装置、制震ダンパー、落橋防止ワイヤー、橋桁端部の連結技術などが導入されている。



出典：Open Street Map を基に調査団作成

図 3-9 既存橋梁耐震補強事例位置図

Bridge ①: 第1ボスポラス橋アプローチ橋



制震ダンパー（梁下部）と落橋防止ケーブル



橋梁全景

出典：調査団撮影

図 3-10 第1ボスポラス橋アプローチ橋

Bridge ②: Ortakoy V408

既存橋脚にコンクリートを巻いて、既存の支持力を考慮せず、補強部の支持力だけで持たせた補強。



橋脚のRC巻き立てと橋桁端部の連結



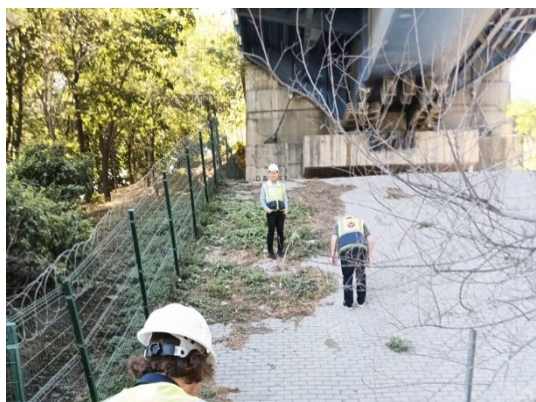
橋脚のRC巻き立てと橋桁端部の連結

出典：調査団撮影

図 3-11 Ortakoy 橋

Bridge ③: Old/New Golden Horn Bridges

元来の中心2車線の旧陸橋は1974年に施工され、1996年に両サイドに新橋が追加された。2010年に耐震補強され、現在の交通量は20万台/日である。



新 Golden Horn 橋



制震ダンパーと落橋防止ケーブル



制震ダンパーと落橋防止ケーブル



浮き上がり防止装置



制震ダンパーと落橋防止ケーブル



基礎が軟弱なため支柱は鋼板巻き立ての上、ボルトで固定した



制震ダンパーと落橋防止ワイヤー、追加の梁



既存橋脚上部の支承取り換え

出典：調査団撮影

図 3-12 Old/New Golden Horn Bridges

Bridge ⑤: Mecidiyekoy 陸橋

1970年代にドイツ支援で整備された陸橋。2008-2010の間で、IHI社が補強を行った。



陸橋は車両交通量・歩行者通行量とも多いエリアである



梁を拡大延長して補強



各支柱頂部に免震ゴム支承を挿入



免震ゴム支承のサンプル

出典：調査団撮影

図 3-13 Mecidiyekoy 陸橋

Bridge ⑥:第2 ボスポラス橋



ヨーロッパ側全景



アジア側全景



ヨーロッパ側主塔

出典：調査団撮影

図 3-14 第2 ボスポラス橋

4) トルコ・シリア地震の被災橋梁の復旧状況文献調査

トルコ・シリア地震によるトルコ南部における道路橋等の被災状況と復旧及び災害後の対応状況について、関連文献から全体像を整理した。

① 地震発生の状況

2023年2月6日早朝、トルコ南部をマグニチュード7.8の地震が襲い、その約9時間後には近隣でマグニチュード

7.5の地震が発生した。最初の地震の断層破壊距離は約290km、2回目の地震は約160kmと測定された¹⁶。初期の推定によると、トルコにおける直接的な物理的被害は340億米ドルを超え¹⁷、液状化、大規模な地盤変動、地滑り、断層破壊による地表の崩壊などが広く記録された。

② 橋梁及び高架橋の被災形態

被災地域の道路橋梁・高架橋において、共通する被災のメカニズムを以下に示す。

- ・ 橋台及び橋脚基礎の沈下または移動により、上部構造のずれ、支承部材の外れ、または支承の損傷。
- ・ 支承部材長が不十分、固定装置の強度不足、または支承がずれたことによる橋桁の外れまたは滑り。
- ・ 隣接するスパン間または上部構造と橋梁両端の橋台とその他の構造物間の衝突（特に斜橋の場合）。
- ・ 大規模高架橋の長周期応答により、設計時に想定されていた以上の増幅された変位の発生。
- ・ 主径間部ではなく、両端の側径間の崩壊または取付道路部の盛土及び橋台の破損。
- ・ 支承及び支承固定装置の損傷。例えば、支承の耐力低下、せん断力緩衝材の損傷、上部構造と下部構造の連結部の不具合。
- ・ 地質工学的影響（液状化、側方流動、斜面崩壊）により橋脚/橋台の構造耐力が低下し、大きな地盤変動が生じた。

出典：Open Street Map を基に調査団で加工

図 3-15 調査文献に記載された被災橋梁・高架橋位置図

③ 橋梁被災状況の学術論文等のレビュー

¹⁶ 文献名3 Mohammadi, Nima 他“Observed structural bridge damage report for the 2023 Turkey-Syria earthquake”, 神戸大学都市安全研究センター研究報告,28:82-98, 2024

¹⁷ 世界銀行 Press Release February27,2023

文献名 1 : Cenani Ozkaya, Ph.D, Robert K. Dowell, Ph.D, PE, and Faruk Yildiz, "Viaduct Damage Assessment After the 2023 Earthquake in Turkey," Structure Magazine, 2025 09/10

- ・ Nurdagi (Gaziantep 州) の高速道路高架橋の以下の高架橋の被災状況と復旧工事内容を記している。図 3-10 における Nurdagi Viaduct (No.1) 、Ataturk Viaduct (No.2) 、Turgut Ozal Viaduct (No.3) 、Baspinar Viaduct (No.4) 、Sehitler Viaduct (No.5) である。

文献名 2 : Masahiro Shirato, Yuichi Odawara, "Field observations on the damage to road bridges after the 2023 Turkey Earthquake 2024", Earthquake Spectra, 2024

- ・ Nurdagi (Gaziantep 州) の高速道路多径間橋 1 本では、プレストレスト桁と鋼桁が RC 柱で支えられており、顕著な損傷には支承の変位、鋭角側の上部構造の回転、座面の外れなどがあつた。
- ・ 著者らは、長スパン/長周期橋の場合、地震応答は標準的な短スパン橋とは異なる場合があるので、設計と補強には特別な注意が必要であると強調している。

文献名 3 : Mohammadi, Nima 他"Observed structural bridge damage report for the 2023 Turkey-Syria earthquake", 神戸大学都市安全研究センター研究報告, 28:82-98, 2024 より

- ・ チームは、災害後 3 か月経過後から橋梁の被害を記録し、多くの橋梁で完全な崩壊ではなく非構造部材またはアプローチ部分の被害が発生したものであるが、重大な交通機能障害が発生したとしている。
- ・ 観測結果から、多くの損傷した橋梁が断層の近傍 (40 km 未満) にあることが提示されている。

以上の他、以下の文献を参照した。

文献名 4 : "The Türkiye Earthquake Sequence of February 2023", A Longitudinal Study Report by EEFIT

文献名 5 : "Global Rapid Post-Disaster Damage Estimation (GRADE) Report "Kahramanmaraş Earthquakes Türkiye Report. by GFDRR February 20, 2023,

文献名 6 : Masahiro Shirato, Yuichi Odawara, "Reconnaissance of the damage to roads and bridges in the 2023 Turkey Earthquake", November 2023 国土技術政策総合研究所資料, November 2023

④ 道路ネットワークとインフラの復旧への影響

- ・ 橋梁と道路網の被害は、道路アクセス、緊急・復旧ルートの接続性に重大な影響を及ぼした。被災した州 (Kahramanmaraş, Gaziantep, Adiyaman, Hatay) の主要な高速道路や高架橋の連結部の構造物が、多くの被害を受け、復旧活動においては、道路アクセスの迅速な復旧が最優先事項となった。調査報告書では、多くの橋梁が倒壊することなく残存していたものの、被災によって機能的な支障 (例 : 重量制限、迂回路、台数制限) が生じたことが報告されている。

⑤ 報告書から読み取れる設計・検査に関する教訓

- ・ 構造安定性: 橋梁では、弾性挙動だけでなく、弾性挙動後の構造安定性、大きな変位、支持機能低下に対応

する強靱性も重視した詳細設計が必要である（例：支承外れ防止、拘束装置、十分な下部構造の長さ、十分な変位容量を備えた支承）。

- ・ 長周期構造物の地震応答：現代の高速道路高架橋の多くは、スパンが長く、固有周期が長い高架構造となっているため、強い揺れに対する応答には、従来の規定では考慮されていない大きな変位や動的な振幅増幅が含まれる可能性がある。白戸・小田原の報告書は、これらの影響についてより詳細な調査を推奨している。
- ・ 診断と事後の準備：診断では、地震前の平常時の調査資料と、地震後の迅速な耐震診断手順（特に支承と座面、上部構造の配置）、及び保守性能評価のための簡便な現場での技術判断ツールの必要性を強調している。
- ・ 地盤工学的知見：今回の被害は、橋梁の性能は構造だけでなく、地盤と基礎構造にも左右されることを浮き彫りにしている。設計においては、地震活動域における洗掘、液状化、側方流動、両端の橋台と基礎の相互作用を考慮する必要がある。

⑥ 補強・復旧計画への主な影響:

- ・ 可動支承の詳細情報が不十分、支承高が低い、桁の拘束の不十分等が見られ、軟弱地盤上にある既存の橋梁は優先的に補強または交換が必要であった。
- ・ 長スパン/長周期の高速道路の場合、補強では変位の制御（例：ダンパー、免震あるいは強化支承の適用）と地震エネルギーの解放を考慮する必要がある。
- ・ 取り付け道路と盛土から橋梁までの区間には注意が必要。盛土の締固めの改善、地盤安定化、排水の改善、取り付け道路の構造などの改善により、機能回復力が向上する可能性がある。
- ・ 被災事後診断体制として、診断手順と部材単位の橋梁補強方式が確立されていれば、一時的な応急処置の後に完全な補強を行うことにより、優先順位に基づいた迅速な補強工事を展開できる。
- ・ 道路ネットワークには機能的な接続性が不可欠であるため、復旧計画には、混雑ポイントやライフラインとなる橋梁のネットワークレベルでの優先順位付けを含める必要がある。報告書では、迅速な復旧、暫定的な強化、完全な再建という階層的な復旧戦略が提案されている。

⑦ 橋梁/高架橋の損傷評価と優先順位付けの枠組み

報告書では、このような大災害の後に被災橋梁を評価し、優先順位を付ける方法について枠組みを提案している。

- ・ 損傷評価レベル：即時評価（目視検査、橋座/支承の変位）から迅速な機能評価（交通の通過可能性、制限）、詳細な構造評価（耐力、残留変形、基礎の損傷）までを評価。
- ・ 機能的損傷と構造的損傷：多くの橋梁は機能的に損傷しているものの、まだ「自立している」可能性がある。そのため、復旧計画には「制限付きで開通」、「一時的に制限」、「閉鎖/復旧」の基準を含める必要がある。
- ・ 優先順位付け基準：
 - 断層や強い揺れの地域に近い（断層に近いほど被害が大きくなる傾向がある）。
 - スパン長 / 固有周期（長スパン / 高架橋では大きな変位が発生するリスクが高くなる）。
 - 地盤/土壌の状態（液状化土壌、盛土、斜面崩壊）。
 - 重要なネットワークの役割（接続性、戦略的なルート、代替迂回路）。
 - 補強の緊急性を示すきっかけとなる損傷メカニズム（支承の故障、橋座面からの外れ、橋脚の移動など）。
- ・ 補強レベル：
 - レベル 1: 迅速な復旧（支保工、一時的な支保工、交通規制）。

レベル 2: 暫定的な強化 (拘束装置の設置、支承のアップグレード、基礎の補強)。

レベル 3: 最新の耐震基準に準拠した完全な再建/補強 (免震支承、補強された基礎構造、部材交換)。

これらの取り組みは、多数の損傷した橋梁の補強の優先順位を設定するための段階的な方法を提供し、特に地震後の復旧計画に役立つ。

⑧ 主な論点の要約

- ・ 2023 年のトルコ・シリア地震は、多くの橋梁や高架橋を含む広範なインフラに被害をもたらした。多くの橋梁は落橋にこそ至らなかったものの、機能的な損傷 (支承部や座面の破損、取り付け道路の崩壊、上部構造の脱落) が広範囲に及んだ。
- ・ 橋梁の耐震性能は、地盤/土質の状態、地震断層までの距離、支間長/固有周期、詳細設計内容 (座面長、拘束装置、支承) に大きく影響された。
- ・ 補強設計では、特に長い支間の橋や重要なライフラインの橋の場合、構造安定性 (変位容量、拘束装置、免震装置/ダンパー) を重視する必要がある。
- ・ 地震後の復旧には、機能的損傷と構造的損傷を区別し、リスクと重要度でランク付けし、段階的な復旧 (緊急、暫定、完全) を計画するなど、迅速な評価と優先順位付けを取り入れた対策が重要である。
- ・ トルコ (ひいては中程度の地震リスクがあるヨーロッパ) のインフラ開発においては、今回の地震から得た教訓を設計・補強基準に反映させるべきである。例えば、新築時の基準遵守だけでなく、長周期の挙動、地質工学的に有効な接続方法、地震後の交通機能などを考慮する必要がある。
- ・ 管理戦略の観点から見ると、橋梁を含むインフラの強靱性の確保には、ネットワークの確保、ダウンタイム (機能停止期間) の対策計画、生命の安全確保とサービス機能の提供の両面を考慮した設計、緊急補強と長期的な補強のための財源の割り当てが求められる。

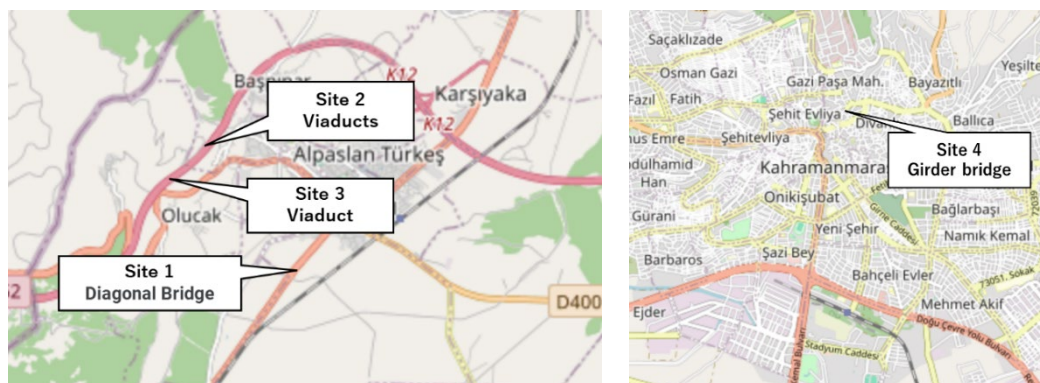
5) トルコ・シリア地震の被災橋梁の復旧状況現地視察

現状の耐震化技術を確認するために、2023 年のトルコ・シリア地震で被災した橋梁の復旧状況や工法を Nurdagi 近郊で確認した。被災箇所の特定に関しては 2023 年土木学会と日本地震工学会の合同調査チームが特定した被災橋梁から選定した。



出典 : Open Street Map を基に調査団作成

図 3-16 Nurdagi 近郊位置図



出典 : Open Street Map を基に調査団作成

図 3-17 調査位置図 (左:Nurdagi)、右 (Kahramanmaras)

Site 1:斜橋 (Nuldagi)

位置座標 : N37.16919, E36.73189 37°10'09.1"N 36°43'54.8"E

- ・ 被災時には完全に落橋していた。井上¹⁸らの考察によると上部構造と下部構造をつなぐアンカーバーが使用されていなかったこと及び上部構造の回転挙動を防ぐ落橋防止装置が無かったことが原因と考えられる。
- ・ 復旧方法としてはコンクリート構造を鋼桁に変更し、中央部に橋脚を追加している。
- ・ 橋台部分を延長して補強している。



鋼桁に掛け替えられ、中央部に下部構造が追加された様子



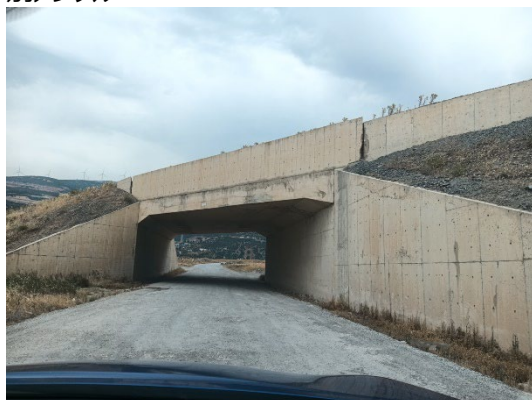
橋台は延長され、補強されているように見える



別アングル



橋台部分



付近のカルバート上部の被災状況

出典：調査団撮影

図 3-18 Nurdaji 斜橋

¹⁸ 井上・服部・小野・庄司、2023年2月トルコ南部地震で被災した者協の現地調査と地震応答解析に基づく落橋要因分析、土木学会論文集 vol 80, No.13, 23-13110, 2024

Site 2: 陸橋 (Nuldagi)

位置座標 : N37.19476, E36.72227, 37°11'41.1"N 36°43'20.2"E

- ・ 橋脚のひび割れ部を鋼製巻き立て工法で補強。
- ・ 橋台部の補強は行われていない様に見える。



補強状況全景



補強状況全景



橋脚部の鋼板巻き立て



橋台部の補強は行われていない様に見える

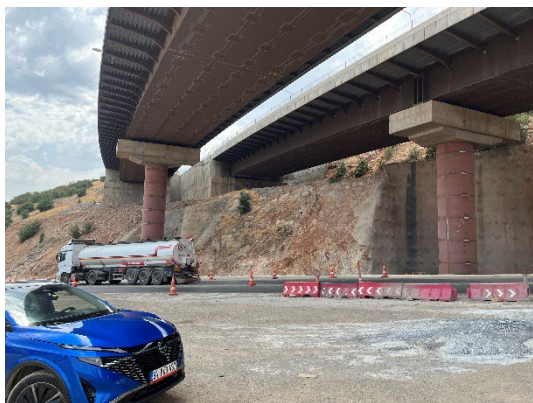
出典：調査団撮影

図 3-19 Nuldagi 高架橋 Site2

Site 3: 陸橋 (Nuldagi)

位置座標 : N37.17129, E36.70006, 37°10'16.6"N 36°42'00.2"E

- ・ 橋脚を鋼板巻き立て工法と基礎の大型化で対応。
- ・ 陸橋下の一般道の交通量も多いため、かなり窮屈な場所での大掛かりな基礎工事となっている。



補強状況全景



橋脚陪鋼管巻き立てと基礎を 1m ずつ拡大

補強状況全景



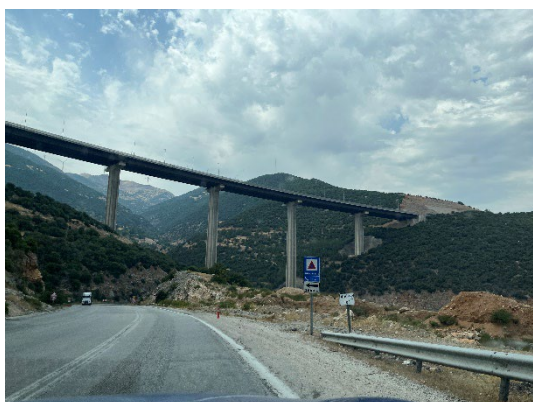
橋台部はそのままで補強しているように見える



一般道の交通量が多く、施工管理が難しくそうであった



巻き立て用鋼板部材



同じ路線の別の支柱（支承部が被災し、免震装置を導入）



同左

出典：調査団撮影

図 3-20 Nuldagi 高架橋 Site 3

Site 4: Viaduct (Kaframamanmarash)

位置座標 : N37.58649, E36.92862、37°35'11.4"N 36°55'43.0"E

- ・ 一般道の橋桁の変位した制限構造が損傷していたが現状復旧されていた。



変位した制限構造の補強



変位した制限構造の補強

出典：調査団撮影

図 3-21 Kaframamanmarash 高架橋

(6) 日本とトルコの耐震基準、適用技術の違い

必要とされる耐震性能、地震時作用荷重と解析方法、耐震性能確保の判断、フェールセーフ機能について、日本とトルコの耐震基準及び適用技術の比較を以下の表に示す。

トルコの橋梁耐震基準 (TBDS 2020) を日本の耐震技術基準と比較してみた場合、日本と同程度の耐震性能を要求している基準が採用されている。よって、基本的には十分な耐震性能を確保できる基準である。但し、フェールセーフ機能に関する考え方は導入されておらず、日本側からの技術提案要素として有効と考えられる。以下の表に耐震設計基準の違いを示す。フェールセーフに関連する日本とトルコの基準の違いは 3.3(2)で後述する。

表 3-8 トルコ耐震基準と日本耐震基準の違い

項目	トルコ	日本
基礎事項	橋梁種別 (3 等級に区分) - KÖS=1 : 重要橋 - KÖS=2 : 通常橋 - KÖS=3 : 簡易橋 特殊橋 : 吊橋、斜張橋、アーチ橋 等	橋梁の分類 (2 区分) A 種の橋 : B 種以外の橋 B 種の橋 : 高重要度橋 (ほとんどの橋はクラス B として設計)
	4 段階 継続使用 PL (KK) : 構造被害なし 軽微被害 PL (SH) : 被害は軽微で容易に補強可能 制御損傷 PL (KH) : 中程度、概ね補強可能 崩壊防止 PL (GO) : 甚大な被害 (崩壊防	3 段階 レベル 1 : 地震時に機能維持 レベル 2 : 被害は限定的で容易に補強可能 レベル 3 : 重大な損傷なし

	止)	
	4レベル DD-1：非常に稀、最大地震 DD-2：稀な地震 DD-2a：頻発地震 DD-3：非常に頻発地震	設計地震動（2レベル） Level 1：供用期間中にしばしば発生する小地震 Level 2：発生確率は低い強い地震 - タイプI：プレート間地震 - タイプII：内陸地殻内地震
耐震性能	性能1：構造被害なし 解析法：頻発する小地震に対する線形解析 照査：耐力照査（強度基準） 設計結果：簡易・低耐震の橋は最終設計として、重要橋は予備設計として実施	性能1：構造被害なし 解析法：レベル1地震に対する静的解析 照査：限界状態1の満足（弾性領域）
	性能2：崩壊防止（被害は限定） 解析法：稀に起こる大地震（DD-1）に対する非線形解析 照査：変形に基づく照査	性能2：崩壊防止（被害は限定） 解析法：レベル2地震に対する動的解析 照査：限界状態1・2・3の満足 - 限界状態1：耐荷力喪失なし - 限界状態2：耐力低下は限定的 - 限界状態3：これを超えると構造安全性喪失

出典：調査団作成

(7) 未充足課題やニーズ分析

1) ニーズ（需要）の顕在化

既存橋梁の耐震化を推進するためには、その必要性および技術的選択手段について関係者間で共通理解を形成することが前提となる。

- ・ 事後対応中心から、事前投資によるインフラ強靱化への意識の共有が重要である。
- ・ 防災計画は存在するものの、既存橋梁耐震化については明確な目標設定や優先順位付けが十分とはいえない。
- ・ 技術面では国内体制は整備されているが、新たな知見や技術については参考情報として関心が示されている。
- ・ 都市部の緊急輸送道路上の橋梁など、機能維持の観点から優先的に検討すべき対象が存在する。
- ・ 機能面とコスト面の双方を踏まえた評価手法（長期的効果の提示等）が、事業化検討の一助となる。
- ・ 例えば、イスタンブール大都市圏における橋梁の整理や優先順位付けを通じて、中長期的な耐震化計画を検討することが考えられる。

2) 政策的課題

(事前投資と新規技術の採用)

- ・ 既存橋梁の耐震化においては、事前投資の重要性に加え、新規技術を活用した場合の性能向上や施工条件への適応性について、十分な共有がなされているとはいえない。
- ・ 新規技術の導入により、被害軽減や復旧期間短縮、長期的な維持管理コストの低減が期待されることを、定量的・経済的観点から整理する必要がある。
- ・ 特に都市部では、用地制約や交通影響を抑制できる工法の有効性について、政策担当者が理解しやすい形で提示することが重要である。

(耐震補強橋梁の優先順位)

- ・ 耐震補強対象橋梁の優先順位付けについて、より体系的な整理が求められる。
- ・ 活断層分布や緊急輸送道路の機能を踏まえた優先順位付けの考え方を明確化することが、事業化検討の基盤となる。耐震補強対象橋梁の優先順位付けについて、より体系的な整理が求められる。
- ・ 当面は、都市部の一般道路橋を含め、将来的な老朽化を見据えた耐震化の検討に焦点を当てることが現実的である。

3) 設計技術的課題

(既設橋梁の耐震性)

- ・ 近年まで耐震設計の概念が十分に反映されていない橋梁が存在し、特に旧基準で設計された橋梁の耐震性向上が課題である。

(設計・施工基準の運用)

- ・ 既存橋梁の耐震設計基準は整備されているが、補強への具体的な適用方法や設計・施工上の運用指針の共有が十分とはいえない。

(実務面での対応)

- ・ 新規技術導入に関する設計・施工フローや品質確保の考え方が体系化されておらず、関係者間での共通理解の形成が課題である。

(新規技術の位置付け)

- ・ 新規技術は、地震時の被害軽減や構造の強靱化に資する可能性があり、その効果を分かりやすく示す必要がある。

(図面不備橋梁への対応)

- ・ 設計図書が十分でない既存橋梁への対応方法を含め、耐震化の進め方を整理・標準化することが求められる。

4) 施工・維持管理上の課題

(施工環境への対応)

- ・ 既存橋梁の立地条件や交通影響を踏まえ、施工スペースや仮設計画を含めた適切な工法選定が必要である。

(施工上の効果の整理)

- ・ 在来工法では大規模な工事が必要となる場合があり、新規技術の活用により工事範囲や期間を縮減できる可能性を整理する必要がある。

(施工性の確保)

- ・ 既存橋梁への耐震装置設置には高度な施工管理が求められるため、設計・施工指針等に対応方法を共有することが望ましい。

(維持管理体制)

- ・ 点検・維持管理体制の強化や、劣化を踏まえた補修方法の整理が課題である。

(技術力向上)

免震・制震装置等の施工経験は限定的であり、セミナー等を通じた技術力向上の取組が有効である。

5) 施策・制度的課題

(耐震化計画と予算)

- ・ 既存橋梁の耐震化を計画的に進めるためには、長期的な目標設定と安定的な予算確保が重要である。
- ・ 都市部では、防災や都市機能維持の観点から橋梁耐震化を位置付け、国際機関資金の活用も含めた事業形成の検討が考えられる。

(積算・評価の枠組み)

- ・ 新規技術の導入には、積算制度の中で適切に評価される仕組みが必要である。
- ・ 新規技術の効果やライフサイクルコストを整理し、判断材料として提示することが重要である。

(新規技術の評価)

- ・ 技術力と価格競争性の高い市場環境の中で、新規技術の付加価値（強い地震への対応、施工影響の低減、品質確保、長寿命化等）を明確に示す必要がある。
- ・ 特に都市部では、交通機能の確保を踏まえた技術の有効性を整理することが有意義である。

6) 運用的課題

古い橋梁では、竣工図面や構造資料が十分に整備されていない場合があり、耐震化検討にあたっては現況把握や構造診断が必要となる。

- ・ 既存橋梁のデータ整備状況については一部不明確な点があり、インベントリーデータや基礎情報の整理が今後の課題である。
- ・ また、日常的な点検・維持管理体制の強化も重要な検討事項である。

(8) 事業の Key Success Factor など

既存橋梁の耐震化を着実に進めるためには、関係者間の連携強化、需要の整理、技術の適切な位置付けが重要である。

1) 関係者間の連携強化

- ・ 相手国の制度・技術の蓄積を尊重しつつ、共通課題として耐震化を整理する姿勢が重要である。
- ・ 政策部門、技術部門、学術機関などとの継続的な意見交換を通じて、段階的に共通理解を形成する。
- ・ 民間企業とコンサルタントが連携し、技術面・制度面の整理を総合的に進めることが有効である。

2) 需要の整理と技術的選択肢の提示

- ・ 優先順位付けの考え方を整理し、具体的な検討対象を明確化することが需要顕在化につながる。
- ・ 特に都市部では、交通影響を抑えた施工方法や社会的影響の低減といった観点が重要である。
- ・ 実務上適用可能な技術選択肢を分かりやすく提示することが前提条件となる。

3) 技術の適切な位置付け

- ・ 技術は「新規性」だけでなく、施工性、維持管理性、ライフサイクルコスト等を含む総合的価値として整理することが重要である。
- ・ 本事業は、直ちに案件化を前提とするものではなく、将来的な案件形成に向けた基盤整備を目的とする。

4) 市場環境を踏まえた対応

- ・ 市場は国内企業が中心であり、連携や技術協力を前提とした関与形態が現実的である。
- ・ 新規技術の導入には、費用対効果の整理や制度・積算上の位置付けが重要である。
- ・ 制度や承認プロセスを踏まえた段階的な取組が求められる。

3.2. 課題の特定と目標設定

(1) ヒアリング結果

本調査では、4回の現地渡航による調査を行い、関係機関へのヒアリングにより課題・ニーズを明確化し、本事業意図の打ち込みを行った。

1) ヒアリング先

① 第1回渡航

第1回渡航は、2025年7月3日（月）～7月16日（火）にて実施した。訪問済み機関（全9機関）を下記に整理する。

表 3-6 ヒアリング先リスト

番号	機関名（和名、略称）	機関名（英語表記）
①	AFAD（災害緊急事態対策庁）	Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD)
②	KGM（高速道路総局）	General Directorate of Highways (KGM)
③	運輸インフラ省	Ministry of Transport and Infrastructure
④	環境都市気候変動省 国際金融 地震対策強化部	Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change (MEUCC) International finance Sourced Seismic Strengthening Department (SSD)
⑤	都市変革庁（都市変革大統領府）（環境都市気候変動省）	The Urban Transformation Presidency (Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change (MEUCC))
⑥	ボアズィチ大学	Bogazici University
⑦	世界銀行トルコ事務所	World Bank Country Office in Turkey
⑧	JICA トルコ事務所	World Bank Country Office in Turkey
⑨	在トルコ日本国大使館	Embassy of Japan in Turkey

② 第2回渡航

第2回渡航は、2025年9月16日（火）～10月24日（木）にて実施した。訪問済み機関（全7機関）を下記に整理する。

番号	機関名（和名、略称）	機関名（英語表記）
①	KGM（高速道路総局）	General Directorate of Highways (KGM)
②	橋梁1 現地視察	Bridge 1
③	橋梁2 現地視察	Bridge 2
④	トルコ建設業協会	Turkish Contractors Association
⑤	トルコ現地設計コンサルタント1	Engineering Consultant 1
⑥	トルコ現地設計コンサルタント2	Engineering Consultant 2
⑦	ボアズィチ大学	Bogazici University

③ 第3回渡航

第3回渡航は、2026年1月14日（水）～1月16日（金）にて実施した。

番号	機関名（和名、略称）	機関名（英語表記）
①	ボアズィチ大学	Bogazici University

④ 第4回渡航

第4回渡航は、2026年2月2日(月)～2月11日(水)にて実施した。

番号	機関名(和名、略称)	機関名(英語表記)
①	ボアズィチ大学	Bogazici University
②	トルコ建設業協会	Construction Assiation
③	トルコ現地設計コンサルタント3	Engineering Consultant 3

2) 技術提案に対する打ち込みヒアリングの結果と相手方の反応

- ・ 免震・制震・落橋防止技術：概ね好感／導入例への関心高
- ・ 費用・施工性・工期への視点：必要との認識
- ・ 設計図面欠如問題：実装性の高い調査技術が期待される
- ・ 維持管理・検査のニーズ(ひび割れ検知3Dシステム)：KGM、AFADから具体的活用案あり
- ・ 高速道路網の構築が大都市を中心に始まったのが1980～1990年代であるため、橋梁の老朽化がまだ深刻な状況になっていない。

(2) 課題の特定と目標設定及び事業の方向性

1) 課題の特定

- ・ 耐震設計基準は整備されているが、既存橋梁への新規技術の活用や長寿命化を見据えた維持管理の取組は、今後の検討余地がある。
- ・ 都市部では、既存交通への影響を抑えた施工方法や狭隘条件への対応が重要な課題となっている。
- ・ 古い橋梁では図面不備や劣化の影響により、構造評価や補強計画の策定が難しい場合がある。
- ・ 工期短縮やライフサイクルコストの合理化など、経済性を含めた総合的な評価が求められている。
- ・ 維持管理体制の強化と、ハザード情報に基づく優先順位付けの検討が、今後の重要な課題である。

2) 事業目標

フェールセーフ技術の導入や、日本で実績のある経済性を考慮した橋梁耐震強化技術の活用により、トルコにおける地震被害の低減を目指す。

3) 事業の方向性

協調体制の構築

- ・ 調査団は、関係機関との意見交換を通じて、既存橋梁の耐震化に関する課題や関心事項を整理するとともに、事業の目的や方向性について理解の共有を図った。
- ・ 技術紹介にあたっては、日本とトルコの橋梁耐震基準の比較や適用事例、フェールセーフの考え方、これまで日本で実施されてきた耐震強化技術等を整理し、制度改定を前提とするのではなく、技術的観点からの情報共有を中心に行った。
- ・ トルコ運輸インフラ省および KGM(高速道路総局)との間で、技術的検討や制度運用上の論点整理について継続的に意見交換を行う枠組みを構築した。

既存橋梁耐震化需要の顕在化

- ・ 地震リスクを踏まえ、既存橋梁の耐震化を計画的に推進するための課題や方向性について整理を行った。
- ・ 事前防災の観点から、既存橋梁の優先順位付けやロードマップ策定の必要性を共有した。
- ・ イスタンブール大都市圏を含む都市部において、交通機能や都市活動への影響を考慮した耐震化の重要性について検討を行った。
- ・ 将来的なパイロット的取組の可能性についても意見交換を行い、段階的な検討の必要性を確認した。

技術提案の方向性確認

- ・ 耐震補強の実装性向上に向け、設計・施工技術に関する参考資料や技術的知見を共有することの有効性を整理した。
- ・ 技術導入にあたっては、効果や費用対効果を分かりやすく示し、発注者や設計者が判断可能な情報を提供することの重要性を確認した。
- ・ 設計図面が十分に整備されていない橋梁への対応方法についても、技術的整理の必要性を共有した。
- ・ 市場環境を踏まえ、性能・施工性・維持管理性およびコストを総合的に評価したうえで技術の位置付けを整理する必要があることを確認した。
- ・ 日本とトルコの設計基準の比較検討を通じて、相互理解を深めるための技術的検討を実施した。

3.3. 打ち手の案とその評価

(1) ニーズに即した事業としての日本の強み・勝ち筋（打ち手）

前述の課題に対する JV チームからの技術提案として、日本とトルコの異なる技術基準の比較、落橋防止のためのフェールセーフ技術、制震・免震工法の為の製品の紹介を行った。また、ニーズの把握としてイスタンブール大都市圏内の耐震補強が必要な橋梁を特定するスタディを行った。

1) 2 橋梁のトルコ・日本の設計比較

3.1.(6)にてトルコ・日本の橋梁耐震の技術基準の比較を行ったが、具体的な設計比較をするため、KGM から提示された 2 つの橋梁に対して、日本の基準を適用した設計例を以下の通り 2 ケースずつ検討し、工事費や工程、構造的特徴、現場施工の違いなどを確認した。

2) フェールセーフシステム

以下に日本基準で示されているフェールセーフ機能を記述する。表ではトルコ基準との比較も実施したが、トルコ基準にはフェールセーフのような想定外地震への対応は記載されていないため、日本側からの提案の 1 つとして取り入れることとした。

3) 既存橋梁耐震補強工法選定フロー

日本側から提案する技術の導入手順を共有するため、日本でこれまで実施されてきた耐震診断～耐震設計～耐震補強工法選定までの流れを、ボアズイチ大学の教授の意見を踏まえてフローに示し、これまで耐震補強実績が少ないトルコにおいても活用しやすいフロー図を提案する。適切な導入手順を共有することで、トルコにおいても制約条件の確認において、社会環境条件を考慮することにより、新工法の導入がより図られる可能性がある。

4) 日本における耐震補強技術

日本と同様にトルコにおいても多様な耐震補強設計の実績はあるが、新規技術の採用が一般的とはなっていない。日本国内では更なる効率化、維持管理の容易性の確保のため、新たな耐震デバイスが開発されているため、これらをトルコに提示することで新たな耐震補強技術の推進、改善を促進する。

5) イスタンブール大都市圏での既存橋梁耐震化の優先順位付け

本調査はこれまで主として KGM が管理する国道・高速道路橋梁を対象として検討を行ってきた。一方で、イスタンブール大都市圏はトルコ最大の人口・経済集積地であり、地震ハザードの高い地域でもあり、都市内交通を担う多数の橋梁が IMM の管轄下にある。都市機能維持の観点からは、KGM 管理橋梁のみならず、IMM 管理橋梁の耐震性も都市全体のレジリエンスを左右する重要要素である。

(2) 強み・勝ち筋を踏まえた事業参入機会案の整理・評価

- ・ 既存橋梁の耐震設計・施工事例を紹介し、日本の技術を選択肢の一つとして提示することで、発注者・受注者双方が実務上検討しやすい環境づくりを図る。
- ・ 日本企業と現地建設企業との協働の可能性を視野に入れた連携の在り方を検討する。
- ・ 設計・施工に関する整理においては、「性能」や「維持管理」の観点を含めた総合的な評価軸を提示し、技術選択の判断材料を充実させる。

3.4. 具体的な戦略の策定

本マスタープランでは、既存橋梁の耐震化を巡るトルコ側の政策・技術・実装上の課題を整理した上で、制度面および実務面の双方から実装可能な枠組みの提示を目指し、以下の戦略的アプローチを整理した。

1) 目指す方向性 (What)

既存橋梁の耐震性能向上について、「個別案件としての補強」ではなく、

- ・ 設計基準・技術指針への位置づけ
- ・ 補強対象橋梁の優先順位付けと適用判断の考え方
- ・ 従来工法と新規技術を含む技術選択肢の整理

を体系的に整理し、制度面・実務面の双方から実装可能な耐震化の枠組みを提示することを目指す。

2) 主な打ち込み先 (Who)

以下の関係主体を主な打ち込み先として設定する。

- 政策・制度レベル：
 - ・ 運輸インフラ省
 - ・ KGM (高速道路総局)
- 技術・知見レベル (助言・補完的役割)
 - ・ ボアズイチ大学 (カンディリ地震研究所) を中心とする学術機関
- 実装・市場形成レベル
 - ・ 設計コンサルタント
 - ・ 施工を担う建設会社

これらを縦割りではなく、「制度—需要—実装」の三層構造として捉え、段階的に働きかける構成とする。

3) 主なアプローチ (How)

■ 比較分析を核とした技術的整理

- ・ 日本とトルコの設計基準・設計実務を比較し、基準そのものの差異だけでなく、適用結果や設計上の考え方の違いを整理する。

■ 技術セミナー/技術意見交換会の開催

- ・ 産官学の関係者が同じ場で議論する機会を設け、既存橋梁耐震化の必要性、技術選択の考え方、施工・管理上の論点を共有する。

■ パイロット的検討の提示

- ・ 代表的な橋梁を例に、複数の工法を比較検討し、制度化や案件形成に向けた検討材料を整理する。

4) コンテンツの位置づけと使い方

本マスタープラン事業で整理・作成する各種成果物（比較表、検討フロー、技術整理資料等）は、

- ・ 政策担当者向けには制度検討の参考資料
- ・ 技術部局・設計者向けには実務上の判断材料
- ・ 国際機関等に対しては投資・支援検討の基礎情報

として段階的に使い分けることを想定する。

5) 活動の狙い

本マスタープラン事業期間中においては、

- ・ 技術的整理及び比較分析
- ・ 制度運用上の論点整理
- ・ 関係者間での共通理解形成

を主目的とし、セミナーや本邦招聘は理解促進・意見交換の機会として位置づける。

3.5. 相手国関係者等への提案の実施

(1) 本マスタープランの目標と成果

1) 目指す方向性

- ・ トルコにおいて、既存橋梁の耐震補強が継続的に推進される環境整備に貢献する。
- ・ トルコにおいて新規技術を含む多様な耐震補強技術が、発注・設計の選択肢として位置付けられることを目指す。
- ・ 設計基準の補足資料等を通じて、橋梁条件に応じた技術適用の考え方を整理し、実務上の検討を容易にする。

2) 本事業を実施する（マスタープランを策定する）目的

- ①技術適用フローや選定基準を整理し、耐震補強に関する設計提案の基礎資料を提供する。

- ②品質確保の考え方や施工管理の知見を共有し、技術導入の判断材料を提示する。
- ③上記を通じて、橋梁耐震補強案件の形成可能性を高める。

3) 本事業（マスタープラン策定）で目指す成果目標

- ①設計・施工に関する参考資料（適用パターン整理図等）の作成・提出
- ②日本の取組事例の紹介（セミナー等を通じた情報共有）
- ③耐震化対象橋梁の選定手順の整理

(2) 本邦招聘実施

本事業では、KGM 関係者および学術関係者を対象に本邦招聘を実施し、日本の品質管理の仕組みや耐震補強事例を紹介することを想定していた。しかし、日程調整の都合により本邦招聘は実施に至らなかった。そのため、本邦で紹介を予定していた橋梁耐震補強事例の一部については、現地セミナーにおいて紹介することとした。

(3) 現地セミナー

1) 目的

両国の耐震基準や取り組みの違いを理解した上で、品質確保に繋げる施策について議論。将来の技術協力関係の継続の合意に繋げる。

2) 内容及び参加者

KGM の副総裁を含む KGM の幹部メンバーと JV チームメンバーでの会合形式となった。

3) 実施時期/場所

2026年2月10日 9:30-11:00

会場：KGM 副総裁フロア 大会議室

(4) コンサルタント・ゼネコン意見交換会

1) 目的

タイトル：コンサルタント・ゼネコンとの既存橋梁耐震化に関する意見交換会

目的：既存橋梁耐震化の実装者である設計者・施工者に、日本の耐震化技術を紹介し、それらの評価・導入の課題・市場の動向などに情報収集を行う。

2) 内容

議題番号	発表者	内容
1	IHI・IIS	開会・趣旨説明 5分
2	PCKK	日本における既存橋梁耐震化の考え方・事例の紹介
3	PCKK、参加者	現地実務者の視点からのコメント共有
4	PCKK、参加者	既存橋梁補強事業の実態把握に関する意見交換
5	PCKK、参加者	業界構造・市場環境に関する意見交換

6	IHI・IIS	まとめ
---	---------	-----

3) 期待される成果

- ・ 橋梁耐震補強に関する日本の最新規技術について、トルコ側関係者の理解を促進する。
- ・ 日本側として、新規技術を活用した市場参入に係る制度的・実務的課題を把握する。
- ・ トルコ側参加者の中に、日本技術の内容や適用条件を理解する実務者層を形成する。

4) 実施時期

2026年2月6日 10:00-11:30

会場：IIS 現地事務所

5) 協議内容

調査団から主な関心事項として、既存橋梁の耐震補強市場が今後どの程度拡大する可能性があるのか、新設橋梁中心の現行方針の中で既存橋梁がどのように位置づけられているのか、免震・制震・落橋防止等の新規技術が実務（設計・施工）レベルで適用可能かどうか、といった点について、橋梁耐震の実務者の視点から意見をヒアリングした。

6) 結論

既存橋梁の耐震補強は限定的ながら継続的に実施されており、今後の橋梁調査や優先順位付けの進展により、取組の体系化が期待される。

新規技術の導入には、技術的有効性に加え、コストや維持管理を含めた総合的なメリットを示すことが重要である。また、図書不備橋梁への対応や点検・維持管理の整理などが課題であり、診断・補強を含む包括的な検討の余地がある。

(5) 本事業の成果とマスタープラン全体での評価

本マスタープラン事業は、トルコ国における既存橋梁の耐震化を巡る制度・技術・実装の課題を整理し、将来的な制度化及び市場形成に向けた基盤を構築することを目的として実施された。その成果及びマスタープラン全体としての評価は以下のとおりである。

1) 制度面における成果

既存橋梁の耐震化について、現行設計基準の適用範囲や解釈、ならびに新設橋梁との位置づけの違いが整理された。特に、

- ・ 既設橋梁に対する耐震性能評価の考え方
- ・ 補修・補強を判断する際の技術的論点
- ・ 設計基準本文ではなく補足資料等として整理する選択肢の充実

といった点が KGM ないし大学や業界関係者との対話を通じて明確化され、今後の基準改定や技術指針整備に向けた現実的な検討ルートについて十分な意見交換ができた。

一方で、制度改定そのものについては、本マスタープラン事業期間内での合意形成には至っておらず、今後も中長期的な政策対話と段階的な検討が必要であることが確認された。

2) 技術面での成果

日本の免震・制震・落橋防止等の技術について、トルコで一般的に用いられている既存工法との比較整理が行われ、以下の点が技術的論点として整理された。

- ・ 都市部や交通量の多い区間における施工性・交通への影響
- ・ 長大橋梁や大断面橋脚における施工難易度及びコスト構造
- ・ 施工期間、ライフサイクルコスト、維持管理性の違い
- ・ 技術が採用される場合の発注者側の技術・コストの審査・承認の必要性

これにより、日本技術の優位性が一律ではなく、橋梁形式や立地条件に応じて選択されるべき技術であることが明確化され、実務者が理解しやすい整理が可能となった。

3) 関係者協議・合意形成の成果

本マスタープラン事業を通じて、KGM 技術部局、設計コンサルタント、施工関係者、学術機関（ボアズイチ大学）との間で、既存橋梁耐震化を巡る共通課題が共有された。特に、学術機関を助言者として位置づけつつ、実務・制度に直結する論点整理を行ったことで、産官学それぞれの役割分担に対する認識が整理された。

一方で、KGM 上位層を含む政策決定レベルでの合意形成については、本マスタープラン期間内では限定的であり、今後のフォローアップ段階での継続的な働きかけが不可欠であることが明確となった。

4) 日本への裨益の観点

本マスタープラン事業により、日本企業の直接的な受注や市場規模を確約する段階には至っていない。しかしながら、

- ・ 日本技術の特性や適用条件が整理され、誤解や過度な期待を排した形で提示できたこと
- ・ 制度改定や技術指針整備が進んだ場合に、日本企業が参入しやすい環境が形成され得ること

が明確化された点は、日本への裨益に向けた「前提条件の整備」として評価できる。

5) 競合環境を踏まえた成果

橋梁耐震化分野では、現在はトルコ国内企業が設計・施工の大半を担っており、海外企業の直接的な参入は限定的である。海外企業が参入する場合には、コストや技術面での付加価値を明確に示すことが求められる。また、部分的な設計や専門分野での協力といった形での関与の可能性も考えられる。

外国企業の製品や技術を市場に導入するためには、発注・積算体系の中で正式に位置付けられることが前提となる。そのため、実証的な取組やパイロット的検討を通じて有効性を示すことが重要である。

耐震化の対象としては、KGM 所管橋梁に加え、イスタンブール大都市圏など自治体管理橋梁も一定数存在すると考えられ、検討の対象となり得る。

こうした競合環境を踏まえ、本マスタープランでは、

- ・ 日本技術とトルコの既存技術との比較整理を行い、相対的な位置付けを明確化したこと
- ・ 制度や技術指針といった上流段階での整理の重要性を示したこと

に意義がある。

単発案件への参入ではなく、制度・技術の枠組みづくりへの関与可能性を整理した点が、本マスタープランの成果である。

3.6. マスタープラン 実現のための次のアクションプランの検討

本マスタープランの成果を踏まえ、制度・技術・関係者間の理解を段階的に深めるため、短期・中期・中長期の視点で取組を整理する。KGM を主軸としつつ、イスタンブール大都市圏（IMM）も視野に入れた検討を行う。

1) 短期アクション（～1 年程度）

目的：技術的論点の整理と基礎情報の充実

- ・既存橋梁耐震化について、施工品質や適用方法の観点から論点を整理する。
- ・KGM 本部・地方組織、設計・施工実務者等へのヒアリングを通じ、実務上の課題を把握する。
- ・都市部橋梁（IMM 管理橋等）に関し、交通影響や老朽化・耐震化対応の観点からニーズを整理する。
- ・日本の知見を、特定条件下で有効な選択肢として比較整理する

2) 中期アクション（1～3 年程度）

目的：実装可能なモデルの構築

- ・ 制度整備の進展に応じ、JV や技術協力等の柔軟な参画形態を検討する。
- ・ 施工影響の最小化、品質確保、長寿命化、維持管理体系などの観点から、日本技術の強みを整理する。
- ・ 将来的な老朽化・更新需要を見据え、KGM および IMM との継続的な関係構築を図る。

3) 中長期アクション（3～5 年程度）

目的：持続的な関与基盤の構築

- ・ 制度整備の進展に応じ、JV や技術協力等の柔軟な参画形態を検討する。
- ・ 施工影響の最小化、品質確保、長寿命化、維持管理体系などの観点から、日本技術の強みを整理する。
- ・ 将来的な老朽化・更新需要を見据え、KGM および IMM との継続的な関係構築を図る。老朽化橋梁の診断・維持管理体系の構築を図る。

4) 不確実性を踏まえた整理

- ・ 本マスタープランは、制度改定や特定案件の成立を前提とするものではなく、将来的な制度整備や市場形成に向けた基礎的検討の蓄積を目的とする。
- ・ 調査および協議を通じて得られた知見は、今後の政策対話や後続事業の企画に活用可能な基礎情報として整理している能な基礎情報として整理・蓄積されている。