

建築住宅分野における開発途上国技術協力プロジェクト紹介シリーズ(2) トルコ地震防災研究センタープロジェクト

独立行政法人建築研究所国際地震工学センター長 福 田 俊 文

1. はじめに

トルコという言葉から何を思い浮かべるだろうか。トロイ、ビザンチン帝国、ビザンチウム、オスマントルコ、イスタンブール、アヤソフィア、ブルーモスクなど、共通するのはいずれも西洋でありまた東洋でもある。ダイレクト便でイスタンブール国際空港に到着すると西欧に近づいた雰囲気を感じず。しかし、ヨーロッパの都市を経由してイスタンブールに入ると市街の雑踏は東洋を強く感じさせるのである。2つの異なる世界が混交する魅力にあふれた国、それがトルコであると思う。

筆者はJICAのトルコ地震防災研究センタープロジェクトに参加し、幾度となくトルコを訪れたが、そのたびに異文化の融合の結果としての都市の表情には新たな発見があり、その魅力は尽きない。

さて、トルコは東西にアジア側から伸びるアナトリア半島とボスポラス海峡を隔てて対峙するヨーロッパ側からなる横に細長い国である。国土面積は日本の約2.1倍、人口は2000年の国勢調査によれば約6800万人、そのうち首都アンカラに400万人、イスタンブールに1000万人、第3の都市イズミールに340万人が住む。トルコ地震防災研究センタープロジェクトを開始した1993年当時、イスタンブールの人口は740万人と言われていたので、近年の都市への人口集中は激しく、住宅や都市交通、大気汚染など我国と同様の問題を内在している。国民は90%以上がイスラム教徒である。また1人あたりのGDPは約3400ドルで、EU加盟を申請し1999年にEU理事会で加盟候補国と承認され、2004年に加盟のための交渉が開始された(参考文献1)。

アナトリア半島は、北のユーラシアプレートと南東のアラブプレートに挟まれた小プレートに乗って



図 北アナトリア断層と被災地など

おり、南東からアラブプレートの北進を受け地震活動の活発なところである。特にアナトリア半島を背骨のように東西に横切る北アナトリア断層は過去に多くの被害を出した地震の震源となっている。20世紀に起きた被害地震の大きなものを次表に示すが、これらの震源は北アナトリア断層である。

トルコにとって地震被害の軽減は我国と同様に国の重要な課題のひとつと認識され、日本政府に建物の耐震構造の研究と地震被害状況の正確な把握システムの確立のための援助プロジェクトを提案してきた。日本政府はこの提案を受け入れ、これから述べるプロジェクトを開始した。

2. プロジェクトの概要

トルコ地震防災研究センタープロジェクトは、1993年4月から5カ年計画で開始され、5年目にJICA(国際協力機構)の評価を受け継続となり2000年3月まで実施された。その目的は、地震防災研究センターを設立・運営し、トルコで多発する地震災害、特に死傷者の発生を低減する方策の確立に向け、実験研究を通して基礎的な技術の蓄積を行うことにより貢献することである。

JICAによる地震防災関係の技術協力プロジェクトとしては、これ以前にペルーとメキシコでの経験があったが、それらはいずれも1つの組織に対して技術協力がなされたものであった。トルコの技術協力に関しては、トルコ政府からの申請がイスタン

表 20世紀に起きたトルコの大被害地震

年	地震名	M	死者数
1939	エルジンジャン地震	8.0	32,700
1999	コジャエリ地震	7.8	17,000

ブール工科大学での耐震構造研究とアンカラの公共事業省地震研究部での地震観測システム構築という2つの事業を地震防災という観点から一本化したものであったので、実施に当たって、トルコ側だけでなく日本国内に設けられたプロジェクト支援組織においても2つの異なる事業間の情報の共有と意思の疎通に多くの努力が払われた。

1992年3月の事前調査、1992年12月の長期調査を経て、1993年3月に実施協議がトルコ政府との間でなされ、翌4月から協力が始まった。

本プロジェクトで設立の地震防災研究センターは、次図に示すように首都アンカラの公共事業省地震研究部に設ける強震観測サブセンター、イスタンブール工科大学に設ける地震工学実験サブセンターと教育訓練サブセンターで構成される。これらのうち教育訓練サブセンターはプロジェクトの後半にトルコ側の努力により設立された。

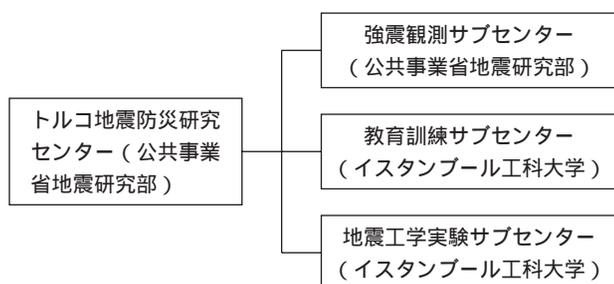


図 トルコの実施組織

日本国内では、日本建築防災協会内にトルコプロジェクト委員会を設置し、専門家派遣、研修員受け入れ、機材供与などの計画作成の支援、各サブセンターでの研究計画の作成支援に当たった。プロジェクトの前半は、メキシコ地震防災センタープロジェクト（1990年～1996年）の後半と時期が重なっていたので、トルコプロジェクト委員会とメキシコプロジェクト委員会の上に技術委員会を設けることにより、両プロジェクト間で地震観測・耐震工学に関する技術移転の問題点や成果の共有化が図られた。

強震観測サブセンターの活動は、以下のとおりである。即ち、黒海沿岸の都市サムスンに地域センターを、その周辺7地点に端末観測点を設置し、地震時の強震記録を即時、アンカラの強震観測サブセンターに電話転送する。転送された地震波を即時に解析し、地震被害の範囲や規模を推定する実験システムを構築することが活動目標である。この実験システムは、将来の地震被災地の救助活動着手への適用を図るため、基礎的なデータや知見の蓄積を目指すものである。



写真 トルコ地震工学界の重鎮ヤラール名誉教授（前列中央：本プロジェクトのトルコ側責任者、ヤラール先生は昨年90歳で逝去された。先生のご冥福を祈ります。）

このような実験システムを構築するため、強震計・地震計とデータ収録および転送装置、データ解析装置、地震データ転送制御ソフトなど、8箇所の遠隔地に設置した強震計等から地震波を吸い上げ、解析し、結果を表示するためのハードとソフトが供与された。

一方、地震工学実験サブセンターの活動は、建築構造および土質の地震時挙動を把握するための実験を実施し、建築構造物の補修・補強および耐震基準に関連する基礎的データや知見を蓄積することである。対象とした建築構造は、トルコの都市において最も一般的な鉄筋コンクリート構造（柱、梁は鉄筋コンクリート構造で、柱・梁のフレーム内に穴あきレンガ造の外壁や間仕切り壁を有する構造）で、近年の地震で大きな被害を受けた構造である。

耐震実験用として、仮動的実験が可能となるコンピュータ制御の加力装置、静的加力実験のための油圧ジャッキ装置、計測装置ならびにデータ処理・解析用パソコンが供与された。また、既存建物の振動特性計測のため、常時微動計測装置、データ処理・解析用パソコンおよび解析ソフト、地盤の土質を把握するために、室内で用いる各種の土質試験装置、屋外での原位置土質試験用に弾性波探査装置が供与された。

3. 地震工学実験サブセンターへの協力

筆者はトルコプロジェクト委員会の構造部会の幹事として、この技術協力に参加したので、構造部会が支援した地震工学実験サブセンターへの協力について、少し詳しく紹介する。

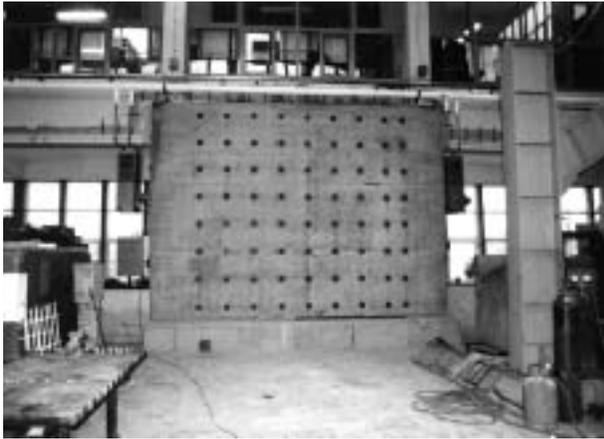


写真 地震工学実験サブセンターの実験室（正面の壁は試験体の反力を受ける壁、2階に実験制御室、解析室などがある）



写真 プロジェクトで最初の構造実験（柱梁が鉄筋コンクリート造でその枠内に「ツーラ」と呼ばれる穴あきレンガの壁を設けたトルコで典型的な構造）

[供与機材の仕様の決定]

従前の技術協力では、プロジェクトの成果を早く上げるため、プロジェクト開始前に日本側の専門家がカウンターパートの意見を聞いて、供与機材の内容と仕様を決めておき、プロジェクト開始後直ちに機材を購入・供与していた。この手順では、機材の内容についてはカウンターパートと合意は得られているが、その仕様については日本側専門家がその責任の範囲において限られた時間のうちに決めていたので、機材を使う段になってみると必ずしもカウンターパートの満足のいくものではないことがあった。

地震工学実験サブセンターには、耐震構造実験、建物の振動特性計測実験および地盤の土質実験関係の各種機器が供与されたが、カウンターパートであるイスタンブール工科大学のカラドアン教授を1カ月間日本に招聘し、機材の内容と仕様を入念に打ち合わせて決定した。また、この時期に合わせて、プ

ロジェクトの担い手となる同大学のユクセル助手（現在は同大学の助教授）の研修を1年間建築研究所で行った。研修は、当初は実験機器の内容・仕様の決定、後半は構造実験方法に関する情報収集と建築研究所の研究者が実施していた構造実験に参加し、実験方法を習得することであった。初年度にカウンターパートを招聘して 供与機材の仕様を定め、それから発注したので納入は2年度目となったが、実験機器の性能に対するカウンターパートの不満は聞かれなかった。

[カウンターパート研修]

カウンターパートであるイスタンブール工科大学の研究者の研究レベルは非常に高いものがあるが、構造実験に関しては実験機器の不足から未経験な面があったので、実験手法の修得を主にした若手研究者の育成がプロジェクトの成功のために重要と考えられた。そこで、イスタンブール工科大学の助手を建築研究所や東京大学に半年から1年間の長期にわたって招聘し、構造実験の指導を行った。

筆者のもとには、1994年にイリキ助手とオズデミール助手が約4カ月滞在することとなった。滞在当初に、予算額を提示して、その範囲内で好きなテーマを選び構造実験を主とする研究を立案させた。二人が選んだテーマは、鉄筋コンクリート造柱の圧縮耐力と帯筋による拘束効果の関係を実験で明らかにしようとするものであった。

試験体の設計から始めて、計測計画と加力計画の立案へと進み、試験体の製作に際しては、業者の作業に立会って作業の様子を写真などの記録に納めて試験体の製作方法を学び、更に、試験装置の操作方法の練習、試験体の試験機への立込みを含む実験準備を経て、いよいよ実験本番、各試験体の実験開始前にコンクリート圧縮試験を実施して試験体の耐力の予測を行い、試験体への載荷と実験データの収録を済ませ、最後は実験の後片付けまでと、日本では大学院生が行う一連の過程を経験させた。

その間、筆者は試験体製作者との製作費の交渉や試験体の製作発注は引き受けたが、これら以外のことには助言をするにとどめた。建築研究所での研修に引き続いて、東京大学生産技術研究所での指導を受けてデータの解析と実験のまとめを行った。二人は、限られた時間の中で良く相談し、構造実験の計画・実行・データ解析・論文へのまとめまでの一貫した過程について多くを学び、帰国した。このことは、構造実験で現象を捉えながら研究を進める研究者として、非常に重要なことだと思われる。



写真 建築研究所での構造実験



写真 2人の助手による試験体の設置作業

実験結果は、建築研究所の研究ペーパー、プロジェクトに関連して開催した日本トルコ地震工学シンポジウム、トルコ地震工学会の論文集、イスタンブール工科大学の紀要などに発表された。その後、地震工学実験サブセンターで実施された構造実験では、その経験が十二分に活かされ、彼等は主導的役割を担ってきた。彼等を含め本プロジェクトに参加した若手研究助手はプロジェクト期間中にプロジェクトで実施した実験を元に学位論文をまとめ、イスタ

ンブール工科大学から博士号を授与され、現在では同大学の助教授として後進の教育に当たっている。また、トルコ地震工学会の若手リーダーとして、耐震関係の基準や指針類の策定に関与し始めている。

[専門家派遣]

本プロジェクトの中心である地震防災研究センターはアンカラの公共事業省に設置されたので、チームリーダーと JICA 調整員はアンカラに常駐し、時折イスタンブールの地震工学実験サブセンターを訪れては意思の疎通を図った。

地震工学実験サブセンターには当初、土質の専門家を長期派遣し、その後、構造実験の専門家が引き継ぎ、同時に滞在期間 1～2 カ月の短期専門家を何回か派遣して技術移転に対処した。これは、イスタンブール工科大学のカウンターパートはいずれも研究能力のレベルが高く、日本で研修を充実したものとすれば、技術移転の実は充分にあがると考えたからである。また、カウンターパートの要求レベルに適い、しかも長期間日本を留守にできるような人材をリクルートすることは非常に難しいという事情もあった。この点は、高度な研究を通しての技術協力に内在する困難さの 1 つであると考えられる。

派遣された専門家が、いずれも最善を尽くされたので、プロジェクトでの技術移転は十分に成果をあげることができた。

[日本トルコ地震工学シンポジウム]

プロジェクトの期間中に 3 回の日本トルコ地震工学シンポジウムを地震工学実験サブセンターのあるイスタンブール工科大学で開催した。主要課題は、プロジェクトの課題に対応する地震防災関連の研究課題で、構造物の地震被害・補修・補強、マイクロゾーネーションなどであった。いずれのシンポジウムもトルコ国内はもとより、EU 諸国、バルカン半島の旧東欧圏諸国や中央アジアに位置する国々からも多くの参加者を得て、活発な議論が展開された。

このシンポジウムには現在 JICA プロジェクトが進行中のルーマニアからも専門家が招かれ、地震工学実験サブセンターのカウンターパートと情報交換できた。このことが契機となって、今度はルーマニアプロジェクトで開催されるシンポジウムにイスタンブール工科大学の研究者が招聘され、トルコのプロジェクトで得た経験や実験研究の成果が発表されるなど、技術協力が相乗効果が現れている。

第 1 回：1997年 3 月

第 2 回：1998年 2 月

第 3 回：2000年 2 月



写真 日本トルコ地震工学シンポジウム

[トルコの都市部の建物]

トルコの都市部に建設される建物の構造は、多くは鉄筋コンクリート造の柱と梁からなるラーメン構造である。多くの柱は長方形断面であることが、正方形断面の柱が一般的な日本の鉄筋コンクリート造のラーメン構造と異なる点である。大きな長方形断面の柱に小さめの梁が取り付くので、わが国の鉄筋コンクリート構造を見慣れた目には、柱梁接合部のプロポーションが異なったものに感ぜられる。

柱梁の構面内には、「ツーラ」と呼ばれる穴あきレンガをモルタルで積み重ねて外壁や間仕切り壁が構成される。厳冬期の低い外気温から室温を暖かく保つためとのことである。工事中の建物を見ると、柱と梁のコンクリートの白枠に「ツーラ」の明るい栗色の面が嵌め込まれ、その対比が美しい。

[トルコでの地震被害調査]

トルコプロジェクトの期間中にトルコは四度の大きな被害地震を受けた。1995年10月のディナール地震、1998年6月のアダナジェイハン地震、1999年の8月にコジャエリ地震、続いて11月のデュズジェ地震である。

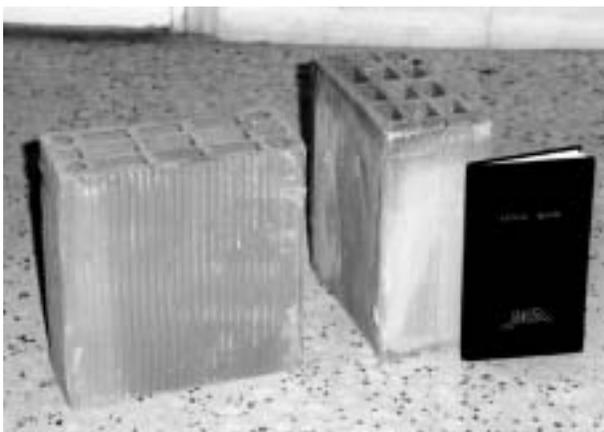


写真 穴あきレンガ「ツーラ」



写真 工事中の鉄筋コンクリート造建物

ディナール地震のマグニチュードは5.9で、死者数約90名、崩壊や倒壊した建物もあったが被害は地方の1都市に限定されたものであった。地震後、強震観測サブセンターに派遣されていた日本人専門家はトルコ側スタッフと地震被害調査、余震観測に当たった。もちろんこれらは、トルコ側スタッフの被害調査や地震観測の実地訓練にもなった。

アダナジェイハン地震では約150名を失った。地震工学実験サブセンターのスタッフと派遣専門家は共同して、被災建物の破壊状況や補強状況を調査した。現在、地震工学実験サブセンターでは強度の低い鉄筋コンクリート造建物の補強方法を研究しているが、このテーマはアダナジェイハン地震の被害調査に同行した派遣専門家が破壊した建物を調査した際にトルコ側カウンターパートに示唆したことによるものと聞いている。

1999年の2つの地震は北アナトリア断層の一部が震源となった一連の大地震である。特に8月の地震の被害は甚大で、死者17,000名を超えた。わが国から人命救助、医療、ライフライン復興支援、耐震調査、耐震診断、仮設住宅建設指導の分野で国際緊急援助隊が派遣された。筆者は耐震調査専門家チームの一員として国際緊急援助隊に参加し、被災地調査の後にトルコへのわが国の支援策を提言した。この被災地調査は、地震工学実験サブセンターのカウンターパートの協力によって効果的で有効なものとする事ができた。

調査後、わが国の可能な支援策として、仮設住宅の供与、危険建物の耐震判定法策定の協力などを提



写真 コジャエリ地震でのアダバザリ市街の被害（通りの両側の5階建て建物：下層部が崩壊し上の3層分あるいは4層分のみ残存）

案した。この提案を受け建築構造の専門家が派遣され、地震工学実験サブセンターのスタッフと協力し、「鉄筋コンクリート造建築物の応急危険度判定マニュアル」が日本のそれを参考にして作成された（参考文献2）。このマニュアルは早速、被害建物の耐震安全性の確認に用いられ、また11月のデュズジェ地震の際にも活用された。

[第三国セミナー]

2000年に本センタープロジェクトが終了したが、そのフォローアップ事業としてJICAの支援の下に、教育訓練サブセンターにおいて3回の第三国セミナーが開催された。

第1回：2003年1月

第2回：2003年10月

第3回：2004年6月

セミナーの運営はもちろん本センタープロジェクトで育った地震工学実験サブセンターの若手助教授達であり、講義の一部も彼等が受け持った。またセミナーの講義には、センタープロジェクトでの研究成果やコジャエリ地震の際に日本人専門家と共同して作成した応急危険度判定マニュアルの解説、構造実験の見学なども含まれ、センタープロジェクトの成果が十分に発揮された。

セミナーには、トルコ国内はもとより、バルカン諸国、中央アジア諸国、カフカスコーカサス諸国からの参加があり、イスタンブールという地理的要衝の地にある地震工学実験サブセンターの意義の大きさを感ぜさせるものであった。



写真 第三国セミナー参加者

4. おわりに

1993年に始まったトルコ地震防災研究センタープロジェクトは、ペルーとメキシコに対して既に行われた地震防災関係のJICAプロジェクトの経験を参考に、運営された。筆者が関与した地震工学実験サブセンターに関しては、日本側支援組織であるトルコプロジェクト委員会構造部会の部会長である岡田恒男東大名誉教授の卓越したご指導の下に、十分な成果をあげることができた。それは、①カウンターパートと十分な議論を経て供与機材の仕様を決めたこと、②カウンターパートに次代を担う若手が十分いたこと、そして彼等を十分に研修で教育できたこと、③派遣専門家の人選を慎重に行い適材を派遣できたこと、④カウンターパートとの信頼関係を維持できたこと、そして何よりも日本国内の支援組織に参加した人達がトルコを好きであったことによるのではないかと考えている。

イスタンブール工科大学は、太平洋戦争後、日本の地震・耐震研究を指導した梅村魁東京大学教授や表俊一郎九州大学教授（建築研究所国際地震工学部初代部長）などが教鞭を執った大学である。半世紀後にイスタンブール工科大学の若手研究者とJICAプロジェクトを通して仕事が出来たことはこの上ない喜びである。

参考文献

- 1) 外務省ホームページ
- 2) 上之園隆志、隈澤文俊、中埜良昭、「地震被害を受けた鉄筋コンクリート造建築物の応急危険度判定マニュアル」、国土交通省国土技術政策総合研究所資料、第40号、2002年3月