

トルコ・コジャエリ地震の建物被害調査の抄録

1. 地震の概要
2. 調査行の概要
3. おわりに

北山和宏*

要 約

1999年8月17日、トルコ共和国西部のコジャエリ県ギョルジュク付近を震源とする大地震が発生し、イズミット市などトルコ西部地域に甚大な被害をもたらした。筆者は日本建築学会調査団の一員として主に建物被害調査に従事した。トルコでは中・低層の鉄筋コンクリート造集合住宅が多く、耐震壁のほとんどない柱・梁骨組構造が主である。柱のみで水平力に抵抗することになるが、柱断面が小さいために保有耐力が極めて小さかった。壁として用いられる中空レンガは地震力にはほとんど抵抗せずに脆性的に破壊した。また、主筋として用いられる丸鋼の定着詳細などが不適切であった。これらが層崩壊を含む激しい被害の生じた原因と考えられる。

ギョルジュク市では2300棟余の建物の被害状況を調査した結果、完全に崩壊した建物の割合(全壊率)は13.2%であった。震源の東にあるアダパザル市街の建物被害はコジャエリ県について多く、地盤の液状化による建物の転倒が多く観察された。建設途中で大破した6階建て鉄筋コンクリート集合住宅を詳細に調査したところ、1階柱の柱頭・柱脚の曲げ破壊が多数生じていた。また1階および2階の梁の曲げひびわれやせん断ひびわれも目立った。略算によるベース・シア係数は0.25であり、日本における純フレーム建物の80%程度と小さかった。

1. 地震の概要

1999年8月17日午前3時(現地時間)、トルコ共和国西部のコジャエリ(Kocaeli)県ギョルジュク(Golcuk)付近を震源とするマグニチュード7.4(深さ17km)の大地震が発生した。トルコ共和国西部を図1に示す。図中の数字は観測された水平地動加速度の最大値(単位:gal)である。この

地震による被害はIzumit, Sakarya, Istanbul, Yalova, Bursaなど震央から半径200kmの範囲に広く分布し、死者15,637人、負傷者24,941人(以上1999年9月18日現在)、全壊建物77,342戸、半壊建物77,169戸(以上1999年10月5日現在)と報告されている。この地震は1995年の兵庫県南部地震(マグニチュード7.2)と同様に、断層が水平横ずれして発生した都市直下の地震である。

* 東京都立大学大学院工学研究科建築学専攻

2. 調査行の概要

日本建築学会において個人の立場で参加する災害調査団（団長：壁谷澤寿海東京大学地震研究所教授）が組織され、筆者もその一員に加わった。日本側の参加者23名のほかにトルコ側からボガジチ大学、イスタンブール工科大学などの大学院生・教員が調査に協力した。調査は9月6日から15日までの日程で行なわれた。以下にその概要を時刻歴に沿って記す。

2. 1 ギョルジュク市街の建物全数調査

1999年9月6日の深夜24時にイスタンブール市内のホテルに到着した。翌9月7日から9日までの3日間、イスタンブールから東に約120km離れたギョルジュク市（震源近傍）の海側地域における建物全数調査を行なった。調査区域（写真1）はマルマラ海沿岸からアタチュルク大通りを横切り山岳部に至る南北のストライプとした。これは、被害の激しかった海側からほとんど被害の見られなかった山側まで全数調査することによって、激震地区のおおよその被害率を推定できると考えたからである。ギョルジュク市街および調査区域を後述のデイルメンデル地区とともに図2に示す。ハッチした部分が調査区域である。なお同図の海沿いにある海軍基地部分は地図上には記載されていない。

調査内容は設定区域内にある全ての建物の被害状況を5段階にランク付けして特徴的な被害を抽出することのほかに、構造種別、建設年、建物階数、構造形態などである。調査チームは日本からの研究者とトルコのボガジチ大学などの研究者および大学院生との混成とした。その結果、調査団全体で2332棟の建物を調査し、完全に崩壊した建物の割合（全壊率）は13.2%であった。

大きな被害を受けたのは4階から8階建て程度の中層の鉄筋コンクリート造集合住宅（例えば写真2）が多かった。構造としては柱および梁からなる純フレームであるが、一般に柱断面は扁平で小さく、梁も不規則に配置されており、応力の伝達が

合理的に設計されているとは考えにくいものである。壁として中空レンガが用いられている（写真3）が、これには鉄筋は入っておらず、材料自体が極めて脆性的であるために地震による水平力に対してはほとんど効果がなかったと考えられる。主筋には丸鋼が用いられることが多く、抜け出しやすい上に定着のための配筋詳細が十分ではなかったこと（写真4）も被害を大きくした一因と思われる。コンクリート強度はシュミット・ハンマーによる非破壊検査を実施した結果では10~30MPaとばらついていた。

以上から、建物が保有する水平耐力が小さく、変形性能も貧弱であったために、全層がパン・ケーキ状に崩壊する破壊が多数生じたと判断する。

2. 2 デイルメンデル地区の調査

9月10日はギョルジュク市からさらに西にあるデイルメンデル（Degirmendere）地区の被害調査を行なった。ここは6階建て程度の比較的均質な集合住宅が建ち並ぶ街区であり、日本でいうニュータウンのような住宅地である。この地域には海軍基地を横切る断層が地表に現われており（写真5）、その付近の建物に全壊したものが多かった。同じ形状の建物が片方は全壊したのに、その隣りでは健全に建っているという例が随所に観察され（例えば写真6）、今後その原因を考察する必要がある。この地域では126棟の建物を調査し、全壊率は28.6%であった。さらにここでは、建設途中で軽微な被害を受けた4階建て集合住宅の詳細調査を行なった。

2. 3 アダパザル市の調査

9月11日は震源の東にあるアダパザル（Adapazari）市を訪れ、中心街の被害調査を行なった。市街の被害状況を図3に示す。アダパザルの建物被害はコジャエリ県について大きく、被害が市の中心部に集中していること、地盤の液状化を含む地盤災害（写真7）が顕著に観察されることなどが特徴である。ここでは地盤の液状化による建物の転倒（写真8）が多く観察され、杭を用いるなどの基礎構造の重要性を再認識した。ギョルジュク

Degirmendere

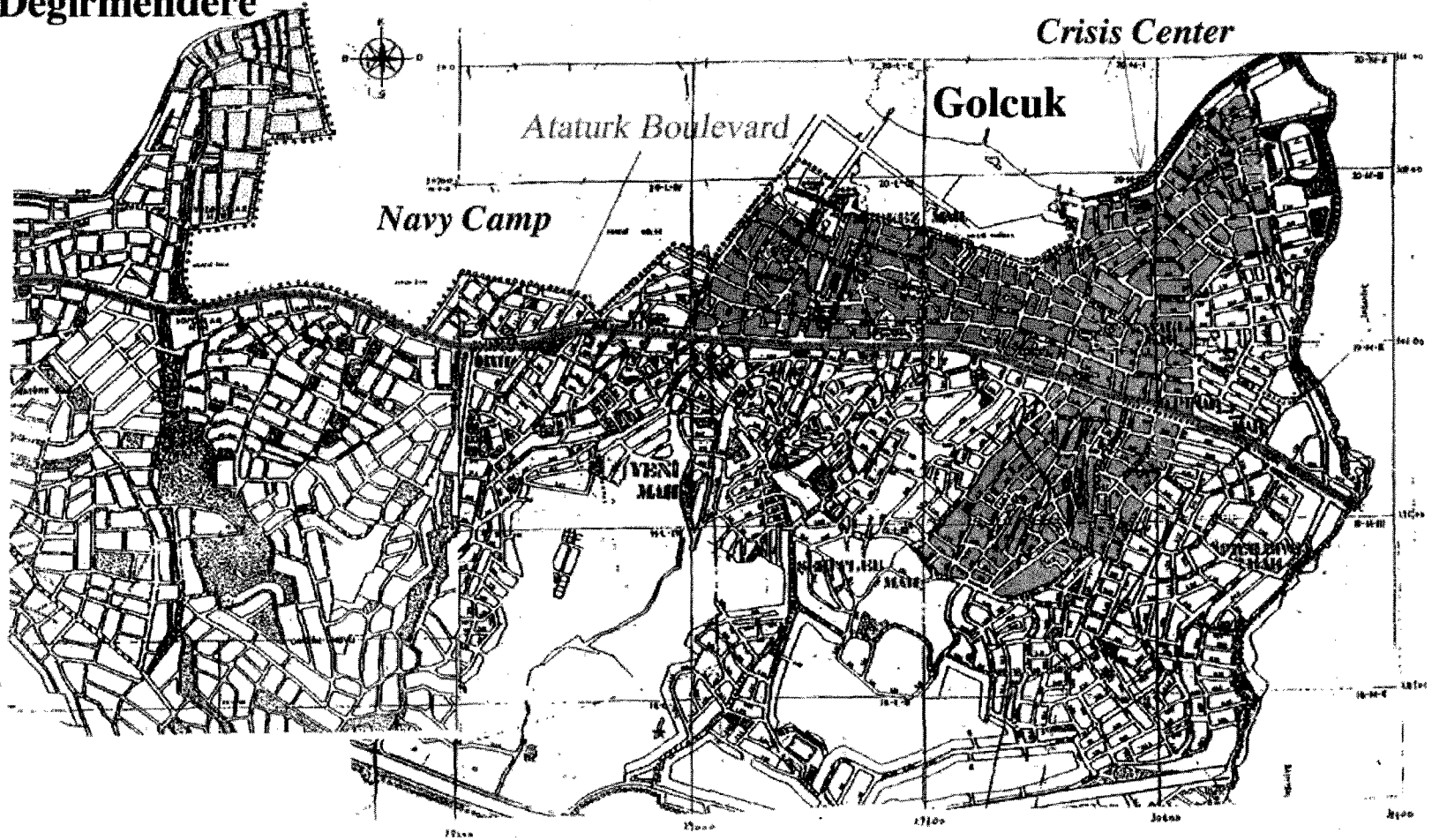


図2 ギョルジュクとデイルメンデルの市街図

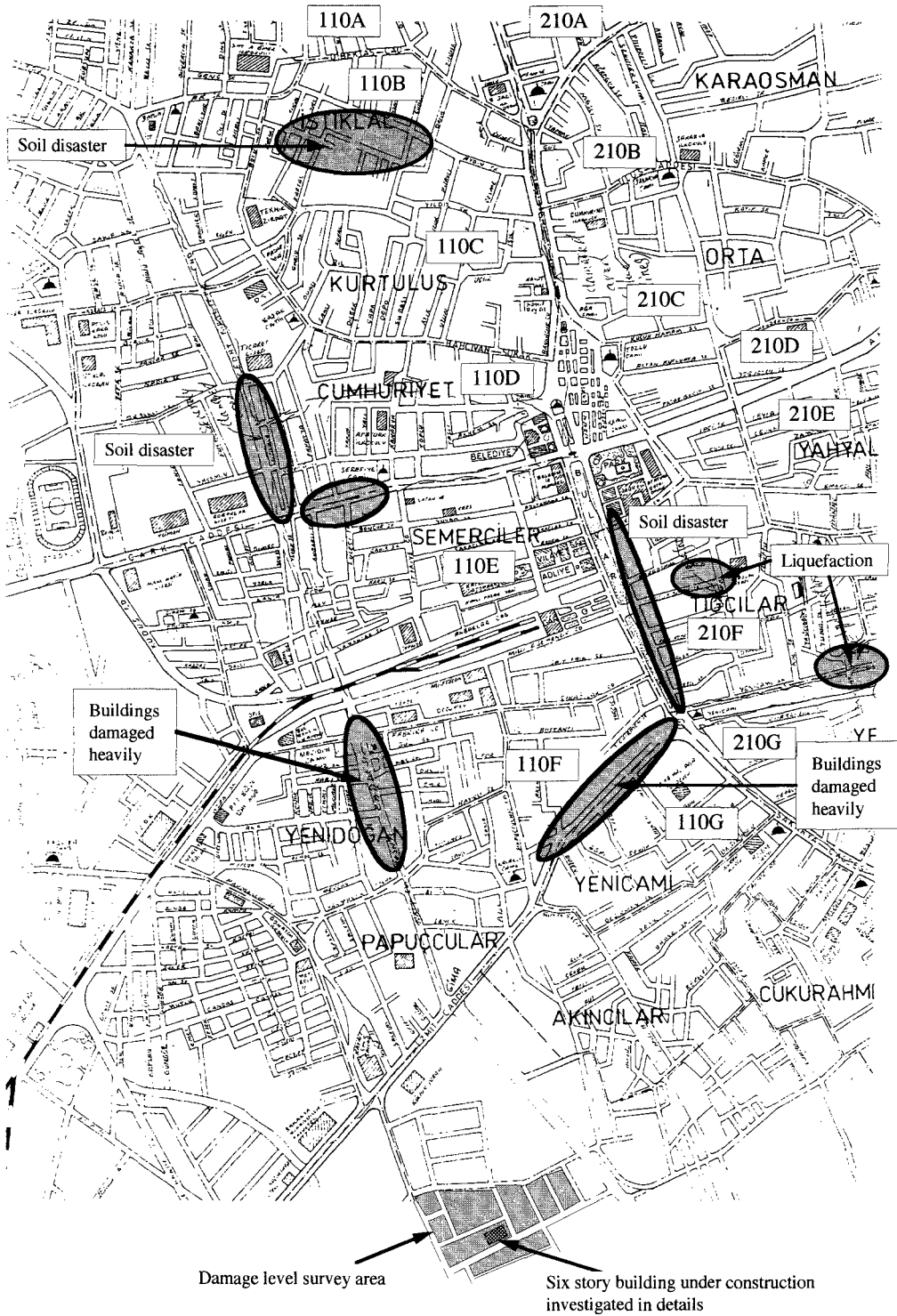


図3 アダバザル市街図と被害状況



写真1 ギョルジュク市街の様子



[梁主筋の定着位置が外側に寄り過ぎている]

写真4 柱・梁接合部の配筋詳細



写真2 層崩壊した鉄筋コンクリート集合住宅

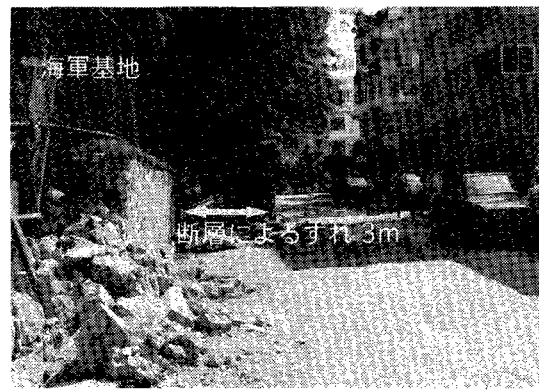
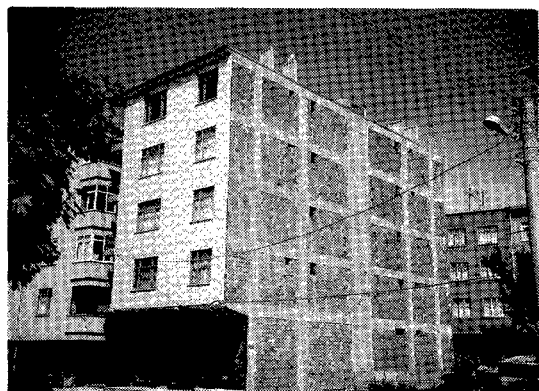


写真5 海軍基地を横切った断層 (藤田香織氏撮影)



[壁として中空レンガを使用している]

写真3 典型的なトルコの集合住宅



[ほぼ同一形状の建物3棟のうち、一番手前は2層分崩壊し、次は1層分崩壊したのに対して、一番向こうの建物は崩壊を免れた]

写真6 デイルメンデル地区の様子



写真7 アダパザル市内の地盤変状

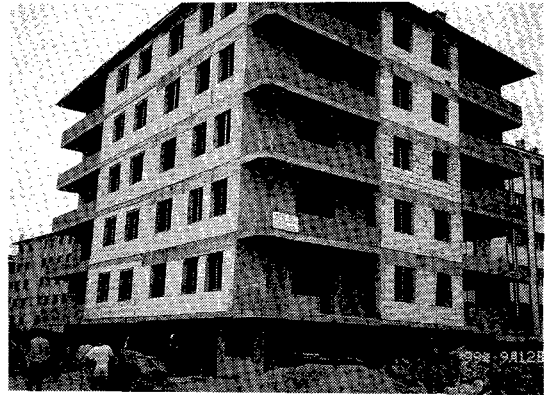


写真9 調査した6階建て鉄筋コンクリート建物の全景



写真8 アダパザル市内の建物の転倒

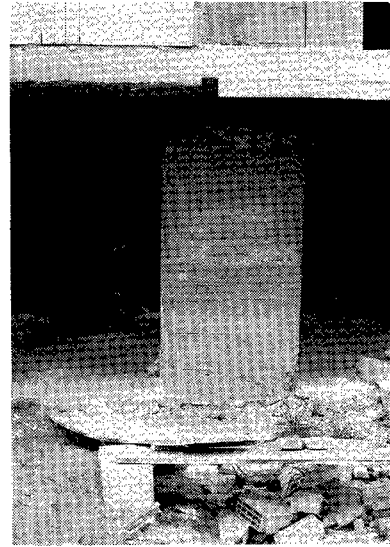


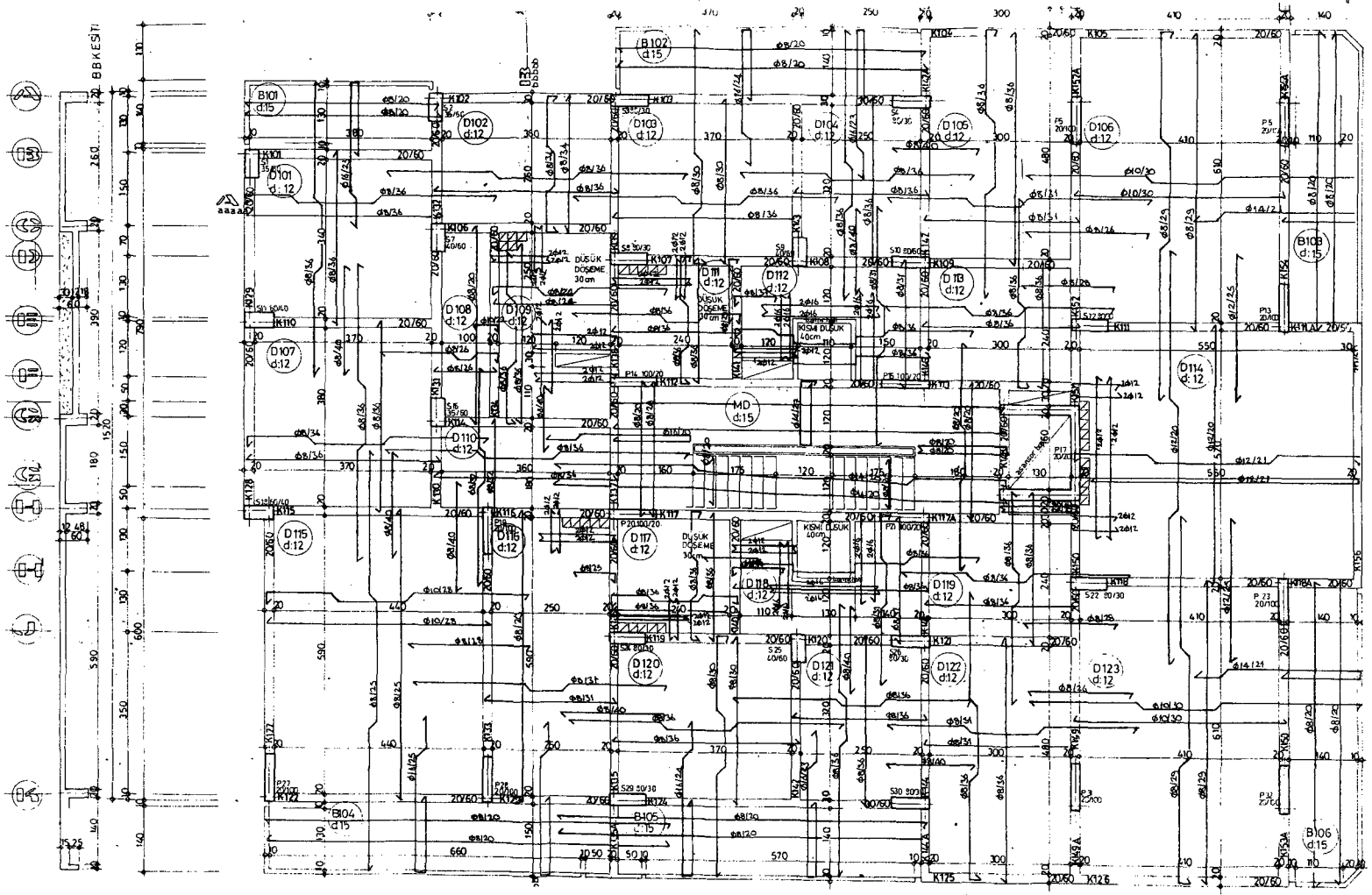
写真10 1階柱付け根の曲げ破壊

市と同様に被害を受けた建物が多かったが、2階建ての小学校建物（鉄筋コンクリート造）はほとんど被害はなく、対照的であった。

2. 4 鉄筋コンクリート造集合住宅の詳細調査

当地にて偶然にも6階建て鉄筋コンクリート造集合住宅の設計図書を手に入れ¹⁾、この建物がアダパザル市内にあることが判明したため詳細に調査することにした。9月13日に詳細調査を行なった。所在地を図3に、設計図面の一例を図4に、建物全景を写真9にそれぞれ示す。

当該建物（1995年に設計完了）は建設途中で骨組が6階まででき上がり、上層階から非構造部材である中空レンガを施工しつつある途中であったため、被害状況を詳細に調べることができた。西面を除く3面には2階以上に1.5mの跳ね出しがあり、跳ね出しの先端にはALCブロックあるいは中空レンガを積んで帳壁としていた。1階および2階の伏図を図5に示す。図中の数字は5段階で評価した部材の損傷度で、数字が大きいくほど被害が激しかったことを表わす。エレベータ・コアのコ字型連層耐震壁を除くと純フレーム構造であるが、梁の配



[部材の位置・番号および寸法、スラブ筋の配筋などが記されている]

図4 6階建て鉄筋コンクリート建物の構造図

置は恣意的である。梁断面は同一サイズであり、柱は扁平断面である。コンクリートの設計基準強度は16MPaであったが、シュミット・ハンマーによる1階柱の推定圧縮強度は23MPaおよび33MPaであった。これは日本で通常用いられる普通コンクリートと同程度の圧縮強度である。

被害を調べたところ1階柱の柱頭・柱脚の曲げ破壊(写真10)が多く、大破と判定された。特に東側1階の扁平柱は面外に転倒しかかっており危険な状態であった。1階および2階の梁の曲げひびわれやせん断ひびわれも目立った。エレベータ・コアのコの字形連層耐震壁には大きなせん断ひびわれが発生し、地震力に対して有効に抵抗したことが観察できた。

このように柱・梁ともにせん断による損傷よりも曲げによる損傷が顕著であった。このことから多くの建物で見られた1層の層崩壊の主原因は、1階柱頭・柱脚の曲げ破壊が生じたあとに大きく水平変形したために、 $P-\delta$ 効果によって自重を保持できなくなったことにあると推察できる。

建物の単位面積重量を $0.66\text{tonf}/\text{m}^2$ とし²⁾、柱・壁の終局せん断応力度を $10\text{kgf}/\text{cm}^2$ と仮定したときのベース・シア係数は桁行き方向0.27、張間方向0.22となった。トルコにおける耐震設計規準改定(1997年)前の設計用ベース・シア係数は0.1程度であるから、建設途中で重量が軽いため比較的余裕があったと考えられる。ただし日本と比べれば保有耐力は小さい³⁾。

2. 5 そのほか

9月12日はイスタンブール市内の被害状況を調査した。市内では住宅の被害はほとんどなく、石造の古城郭から石材が落下した程度であった。

9月13日は上述のように再度アダパザル市で建物調査を行った。この日の午後3時にマグニチュード5.8の余震が発生し、ギョルジュク市などで建物の倒壊などの被害を生じた。われわれがアダパザル市で調査した6階建て集合住宅は幸いにも倒壊を免れた。

9月14日早朝にイスタンブールを出発して帰国の途につき、9月15日に成田空港に到着した。

3. おわりに

外国での地震被害調査は筆者にとって初めての体験であったので、出発するまでは不安であった。しかし現地では、トルコの学生諸君が英語とトルコ語との通訳を務めてくれたため、調査活動を円滑に進めることができた。一足先に現地に入って精神的に情報収集してくれた学会調査団先遣隊の方々のご苦勞に負うところも多かった。トルコの人々は被災して内面には深い傷を負っているであろうのに、われわれ異邦の調査者を快く受け入れてくれた。調査の途中で道行く人たちにこちらから「メルハバ(こんにちは)!」と話しかければ、必ず「メルハバ。ホシュ・カルデナス(ようこそおいで下さいました)」と胸に手を当てて答えてくれた。チャイ(紅茶)を飲んで行け、果物を食べろ、ここで休憩しろ、と誘ってくれることも再三であった。ありがたかった。

岡田恒男先生から調査前に数珠を持って行くようにと言われた。はじめは何故?と思ったが、現地で数珠を持ち、ひどい被害を蒙った場所でお祈りをしていると、イスラム教徒である人々にもその気持ちが通じるのか、われわれを見る目が優しく感じられた。

ギョルジュクの救急救援センターの前でドイツからの救助隊の隊長に話しかけられ、何をしているのかと聞かれた。彼は既に3週間、瓦礫からの救助活動に従事して非常に疲れている、と語った。国際貢献を唱えるのは簡単だが、実際にはこうした多くの人たちの努力に依存していることを改めて思い知らされた。

日本に戻り成田空港駅のベンチに座って電車を待つあいだ、忙しかった異国での調査が無事終了した安堵感と悲惨な災害の地とはあまりにもかけ離れた日本の豊かな光景がもたらす眩暈とを感じずにはいられなかった。

被災地の復興と現地の人々の心身の回復を心よりお祈りしたい。合掌。

なお、ギョルジュク市の建物全数調査については文献1に詳しいので参照されたい。

注

- 1) アダバザル市街の大通りの歩道に生じた地割れ部分に投げ捨てられているのを、東大の塩原等助教授が発見した。トルコの学生さんになかを見てもらったところ、思わぬお宝であることがわかった。
- 2) 鉄筋コンクリートおよび中空レンガの重量を調査結果に基づいて拾い上げて計算した。日本における標準的な鉄筋コンクリート建物の単位面積重量は1.2 tonf/m²であるから、この建物が建設途中であることを考慮してもかなり軽い。

- 3) 新耐震設計法（1981年施行）によって設計された日本の純フレーム建物は、ベース・シア係数で少なくとも0.3以上の水平耐力を保有する。

参 考 文 献

- 1) 壁谷澤寿海・藤田香織「トルココジャエリ地震による建築構造物の被害の調査概要」、『建築防災』p.33-39, 2000.

Key Words (キー・ワード)

Kocaeli Earthquake (コジャエリ地震), Building Damage (建物被害), Damage Rate (被害率), Reinforced Concrete Frame (鉄筋コンクリート骨組), Seismic Resistant Performance (耐震性能)

Summary on Investigation to Buildings Damaged by 1999 Kocaeli Earthquake in Turkey

Kazuhiro Kitayama*

*Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University
Comprehensive Urban Studies, No.72, 2000, pp.39- 50

A big earthquake with the Magnitude of 7.4 whose epicenter was located on the vicinity of Golcuk City occurred on August 17, 1999, in the west part of the Republic of Turkey. The earthquake caused severe damage to buildings and many casualties. The author engaged in the damage investigation to buildings as the one of the members of the Architectural Institute of Japan Reconnaissance Team.

There are many low- or middle-rise apartment houses made of reinforced concrete (R/C) in Turkey. These buildings resist the earthquake horizontal load by only the columns since the buildings consist of the open frames without shear walls. The horizontal load carrying capacity in the buildings was very poor because of the small cross sectional area of columns. The hollow bricks used as the curtain-walls could not resist the earthquake attacks and failed brittlely. The anchorage details of plain steel bars arranged as the longitudinal reinforcement was inappropriate in many buildings. It is supposed that these factors caused the story collapse of buildings.

The damage investigation to whole buildings in the specified areas in Golcuk was carried out. The ratio of the number of entirely collapsed buildings to the investigated buildings of approximately 2300 was 13.2 percent.

Many buildings suffered from severe damage by the earthquake in Adapazari (Sakarya) similarly with Kocaeli Prefecture. Several buildings inclined such as the rigid body due to the liquefaction of the soil.

The six story reinforced concrete apartment house under the construction was researched in details since the drawings for the structural design was obtained accidentally. Many columns in the first story failed by the flexural compression of the concrete at the top and bottom ends. The cracks along columns and beams were remarkable. The base shear coefficient was 0.25 approximately by the quick computation. This is 0.8 times that of frame buildings designed generally in Japan.