

2008年5月12日 中国四川大地震復旧技術支援連絡会議
第2次復旧技術支援 建築チーム活動記録

東京大学生産技術研究所 中埜良昭
東北大学大学院 前田匡樹
東北大学大学院 迫田丈志
京都大学大学院 坂下雅信

1. はじめに

(1) 活動の目的

2008年5月12日午後2時28分(現地時間)頃、中華人民共和国・四川省でM7.9(USGS)の地震が発生した。この地震による人的、物的損害は甚大で、建物等の崩壊に伴い四川省と甘肅省において、あわせて6万9千人以上の死者と37万4千人以上の負傷者が発生した(6月11日現在)。地震発生直後、地震災害に関係の深い土木学会、日本建築学会、地盤工学会、日本地震工学会、日本地震学会の5学会(後に日本都市計画学会を加えた6学会)は、相互に情報を共有し必要な支援に協力して当たるべく、中国の土木・建築関係者と連絡を取りつつ、阪神淡路大震災、中越地震災害などの経験の紹介、構造物の健全性診断技術などを含む復旧・復興支援を目的に「四川地震復旧技術支援連絡会議」を設置した。本連絡会議では5月28日から6月1日にかけて復旧技術支援チーム(団長:濱田正則・早稲田大学教授)を四川省都成都市に先遣隊として派遣し、復旧技術支援について西南交通大学を始めとする関係機関および関係者と打ち合わせを行った。

今回日本建築学会が派遣した標記支援チームは、上記先遣隊の結果に基づき今後の具体的な支援方針のひとつとして西南交通大学との間で確認された「地震により損傷を受けた建物の診断と補修方法に関するセミナーの開催」に対応すべく、現地の調査結果に基づき中国側技術者を対象とした震災復旧に関する技術支援セミナーを開催することを活動の主目的とするものである。

(2) 技術協力の対象および方法

主として中低層鉄筋コンクリート造建築物を対象に、震災復旧に関する技術協力を行う。主な活動内容は以下の通りである。

- ① 復旧技術の検討に必要な基礎データの収集とその検討
- ② 同地の建築構造に適した被災度判定手法および応急・恒久復旧技術の検討と提案
- ③ 上記検討結果のとりまとめと技術セミナーの開催

(3) 活動組織

団長:中埜良昭(東京大学生産技術研究所),

幹事:前田匡樹(東北大学大学院)

団員:迫田丈志(東北大学大学院), 坂下雅信(京都大学大学院)

(4) 活動期間および滞在先

6月20日	成都着
21日~23日	被災地視察(綿竹市漢旺, 都江堰市) およびセミナー準備
24日	セミナー開催(西南交通大学鏡湖賓館多功能庁)
25日	帰国

2. 活動記録

建築学会が派遣した復旧技術支援チームが現地調査を行った地域の地図に被災建築物の調査地点を記入して図1に示す。



図1 調査地点 (①～④：6月21日、⑤：6月22日)

以下、2008年6月20日から25日に行った活動の記録を、時系列に沿って列挙する。

(1) 6月20日 (第1日目)

08:55 成田発 上海行 CA158便 10:55着 (中埜 (東京大)、前田 (東北大)、迫田 (東北大))

09:15 関空発 上海行 CA164便 10:45着 (坂下 (京都大))

【以後、時間は現地時間で表記】

13:00 上海発 成都行 CA4504便 16:15着 (中埜、前田、迫田、坂下)

16:30 成都空港で中国四川地震関連の書籍、地図を購入。西南交通大学 土木工程学院 蔣教授の出迎えを受け、西南交通大学ゲストハウスへ移動。

17:30 既に到着していた土木チームと合流し、西南交通大学校長 陳教授と面会し歓迎を受ける。

18:30 夕食

西南交通大学鏡湖賓館泊

(2) 6月21日 (第2日目)

08:10 綿竹市漢旺に向け出発 (計11名)

日本側：中埜、前田、迫田、坂下

中国側：趙世春、張建経、他5名

09:05 高速道路を使用し、徳陽市に到着

09:15 仮設住宅が道沿いに並んでいる。

東機 (発電機メーカー) などの工場が多い。

瓦やレンガの被害が見られるようになる。

09:50 【きのこ工場】

レンガ造の平屋建てきのこ栽培工場群があり、道路側の1棟は完全に崩壊し撤去中であった (写真1)。レンガ造の高さ30m程度の煙突で高さ中央付近で水平にひび割れ10cm程度のずれ変形が生じていた (写真2)。

この周辺の他の建物には甚大な被害は少なかった。



写真1 徳陽市のレンガ造きのこ栽培工場

写真2 高さ中央で水平ずれが生じた煙突

10:30 漢旺到着

【2階建てレンガ造商店】

川沿いに立地しており道路の裏側は敷地が低く半地下の構造となっている。床スラブは、レンガ壁にPCa中空床板を載せた形式になっている。

道路裏側が崩壊し建物が大きく傾斜し、部分的にPCaプレキャスト中空床スラブの落下が生じた (写真5)。落下したPCa板の端部の鉄筋は細径の丸鋼で、定着が十分ではなかった可能性が考えられる (写真7)。レンガ壁のせん断ひび割れ、崩落 (写真8) が見られた。



写真3 倒壊した商店の全景



写真4 倒壊した商店の全景



写真5 2階のPCa中空スラブの落下



写真6 落下を免れた床スラブ



写真7 落下したPCa中空スラブの端部



写真8 レンガ壁の損傷

【警察署およびその周辺】

集合住宅が多く立ち並んでいる街区の入口に7階建ての警察署がある。この奥のエリアは、警察が街区入口を警備し住民以外立ち入り禁止になっている（写真9）。奥に電力会社の発電所があるので、厳重に管理しているとのことである。

警察署建物の構造形式の詳細は不明であるが、壁はレンガ造である。建物の左端の1,2スパン程度が完全に崩壊して瓦礫となっていた（写真10,11）。その他の部分にも、レンガ壁のせん断ひび割れや、タイルの剥落などの損傷が生じた（写真12）。

警察署周辺には6, 7階建て程度の集合住宅が多数あり、外観から外壁にせん断ひび割れが生じた建物（写真13）や、全体に傾斜した建物（写真14）などが見られた。



写真9 警察署全景（街区入口で立入禁止）



写真10 警察署建物（右）の左端が部分崩壊



写真11 崩壊部分の拡大



写真12 レンガ壁の損傷



写真13 警察署周辺の集合住宅（外壁に損傷）



写真14 警察署周辺の傾斜した集合住宅

【7階建て商業ビル（東方大酒店）】

RC架構にレンガ壁を充填した7階建ての構造物である。1階は道路に面して店舗（飲食店）があり、2階から上は事務所や住居として使用している（写真15,16）。

妻面の1か所で、柱脚および柱梁接合部でコアコンクリートが圧壊し、主筋が露出する損傷が生じた（写真17）が、外観からはその他のRC架構に深刻な損傷は見られなかった。レンガ壁には、せん断ひび割れや仕上げの剥落などの損傷が多数生じた（写真18,19）。



写真15 建物全景（道路側正面）



写真16 建物全景（道路と反対側）



写真17 柱脚と柱梁接合部のコンクリートの崩落

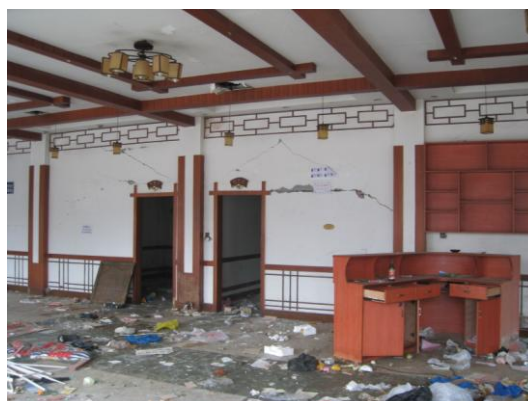


写真18 建物内部の壁の損傷



写真19 妻面におけるレンガ壁のひび割れ

【レンガ造集合住宅】

老朽化した集合住宅が数多く残る地区である。構造はレンガの壁にPCa中空スラブを載せRC臥梁を回す形式である。多くの建物のレンガ壁にせん断ひび割れが発生しており、部分崩壊し床が抜けおちた建物（写真20,21）、大きく傾斜した建物（写真22,23）、完全に倒壊した建物（写真24）などが数多く見られた。一方で、付近の比較的新しい高層建物は倒壊を免れていた（写真25）。



写真20 部分崩壊した集合住宅



写真21 左写真の崩壊した部分



写真22 部分崩壊し大きく変形した住宅



写真23 大きく傾斜した集合住宅



写真24 一帯の集合住宅は高い割合で倒壊



写真25 付近の新しい建物（倒壊していない）

【SLの石炭補給基地】

RC造4階建ての蒸気機関車の石炭補給基地として使用されていた建物と思われる。3層部分は両方向とも全面無開口の耐震壁で囲まれた（石炭の？）貯蔵庫で、1-2層はラーメン構造である。短辺方向の2階の梁がなく1-2層が吹き抜けの1スパンピロティ構造となっている（写真26,27）。

なお、線路は小川沿いの土手上を走っており、川面から7-8mの位置にある（写真28）。その法面が一部崩壊し川の方へ崩れかかっており、1階床スラブが若干沈下し（写真29）、線路も波打っている（写真30,31）。

短辺方向：ピロティ部の柱頭が曲げ降伏し、一部ではかぶりコンクリートの圧壊や主筋座

屈が生じた（写真32）。柱頭は柱梁接合部の10cm下あたりに、コンクリートの打ち継ぎ面があり、打継部が損傷を誘発している可能性がある（写真33）。
 長辺方向：全ての2階梁端部が曲げ降伏する梁降伏型の崩壊メカニズムを形成していた（写真34）。曲げ圧壊した梁端で主筋の座屈が多く見られた。また、主筋は重ね継手されているが、一部に重ね長さゼロと思われる個所があった（写真35）。



写真26 建物全景



写真27 建物内部



写真28 補給基地は川沿い立地している



写真29 1階床スラブの沈下の形跡



写真30 地盤変状による線路面の波打ち



写真31 地盤変状による線路面の波打ち



写真32 1階柱頭の短辺方向の塑性ヒンジ



写真33 1階柱頭の打ち継ぎ面の損傷



写真34 長辺方向の2階梁端の塑性ヒンジ



写真35 左写真の塑性ヒンジの拡大

【SLの石炭補給基地周辺】

この地区は平野部と山の境界部に位置し、周囲の山では斜面崩壊・地滑りの形跡が多数観察された（写真36,37）。

鉄道貨物駅では仮設住宅用の資材（屋根、壁用）の積み下ろしをしていた（写真38）。



写真36 周囲の山の斜面崩壊



写真37 周囲の山の斜面崩壊



写真38 貨物駅で積み下ろした仮設住宅用と思われる資材

【工場】

敷地内に数棟の工場建物があり、いずれも大きな被害を受けていた。

1棟は、比較的小規模の工場で、レンガ造壁と鉄骨山形トラス梁からなる構造である（写真39）。壁に柱型があるがRC柱ではなく、レンガ積の控え柱である。

両妻壁部分を中心にレンガ造壁が転倒・崩壊し、屋根葺き材（スレート板のようなもの）の半数以上が落下した（写真40）。崩壊しなかったレンガ壁にも目地に大きなひび割れ（水平ずれ）が生じている個所が見られた（写真41）。

この工場に隣接した中規模の工場は、外周RC架構と鉄骨ラチス梁からなる構造で、外壁はRC架構に外接して（フレーム内ではなく）レンガ造壁を設けている（写真42, 43）。また、桁行き方向にはアングルを組み立てた格子を対にしたX型ブレースが配置されていた。RC架構やラチス梁には深刻な被害は見られなかったが、アングル材を用いたX型ブレースは座屈していた（写真44）。また、レンガ造外壁にはひび割れなどの損傷が多数見られ、部分的に崩壊しレンガや臥梁が落下した（写真45,46）。

周辺でも大規模な工場で外壁及び屋根が部分的に崩壊した建物があり、内部で作業中の人が多数犠牲になったとのことである（写真47）。

また、6階建ての事務所建物が完全に崩壊して瓦礫となっていた（写真48,49）。この瓦礫には未だ下敷きになっている人がおり、調査時点でも捜索（救出）活動が行われていた。



写真39 部分崩壊した小規模工場の全景



写真40 妻壁が崩落し、屋根材も落下



写真41 レンガ壁の面外方向へのずれ



写真42 鉄骨ラチス屋根をもつ中規模工場の外観



写真43 中規模工場の内部



写真44 格子型ブレースの座屈



写真45 RC架構外側のレンガ壁の部分崩壊



写真46 崩落した外壁レンガと臥梁



写真47 周辺の他の工場の被害状況



写真48 完全に倒壊した6階建て建物



写真49 左写真の拡大

【漢旺中心街の時計台】

2階建ての小規模な塔である。構造形式は不明。時計が地震発生時刻の2時28分で停止したままとなっていた（写真50）。



写真50 漢旺中心街の時計台（時計が地震発生時刻で停止）

12:30 【漢旺公安分局（警察署）】

4階建てのRC造純フレーム構造で、2008年の春に竣工したばかりの建物である（写真51）。

1階柱の断面は500mm角、主筋8-D22程度で、梁は400mm×680mmである。

構造躯体の損傷は1階柱の柱頭と柱・梁接合部に生じている。柱数本で柱頭の曲げ圧壊により被りコンクリートが剥落しており、剥落が柱・梁接合部にまで及び、柱の隅主筋が座屈したものもある（写真52,53）。接合部内に横補強筋が配筋されていない様子で、これが損傷を増大させた可能性がある。（趙教授によれば、柱梁接合部に横補強筋を配筋しないのは設計基準違反である）

この建物のレンガ壁の仕上げモルタルには、全面に繊維メッシュが塗り込められており、ひび割れの拡大やレンガ壁の転倒防止に有効であったと思われる（写真54）。なお、仕上げモルタルには、発泡スチロールの粒を混入していた（写真55）。趙教授によれば、最近

の建物では仕上げモルタルに繊維メッシュを用いることも多い（建設費に余裕がある公共建物などでは）が、一般的には柱と壁の境目だけに肌分け防止のためメッシュを配置しているとのことである。この建物では壁面全体にメッシュを用いており、レンガ壁の崩落防止に高い効果を発揮したと思われる。繊維の代わりに金網を用いればさらに高い効果も期待できるが費用の点で金網の使用は難しいとのことである。

現地では、被災度区分判定のような復旧可能性の判定が行われているようで、この建物は、D判定で取り壊し予定とのことである（写真56）。（この判定では、A～Dの4段階の判定しており、それぞれ、A：そのまま使用可能、B：簡単な補修で復旧可能、C：大規模な補修（補強）で復旧可能、D：復旧不可能（改築）である。これらの判断基準については、明文化されたマニュアルはなく、判定者の工学的判断で行っているようである）。

我々の印象では、非構造体であるレンガ壁のせん断ひび割れなどの損傷は大きい（写真57）もののRC架構の損傷は、一部の柱頭、柱梁接合部に集中しており、補修・補強による復旧も不可能ではない印象を受けた。



写真51 漢旺公安分局の全景



写真52 柱頭と柱梁接合部の損傷



写真53 柱頭の曲げ圧壊と主筋の座屈



写真54 繊維メッシュを用いたレンガ壁の仕上げ 写真55 左写真ひび割れ部の拡大
(モルタルに発泡スチロールの粒を混入)



写真56 復旧可能性の判定結果表示
(D判定：復旧不能・改築)

写真57 レンガ壁の損傷

13:30 昼食（綿竹市内）

14:40 【劍南春大酒店（ホテル）】

16階建てRC造フレーム構造で、1993年竣工とのことである（写真58）。高層部はL字型の平面をしている。代表的なスパン長は7.8mである。1階の柱の代表断面は、800mm×800mm、主筋は20-D25またはD22、横補強筋φ10@200で中子筋も配筋されている。L字型平面の先端の丸柱（平面先端部は角を落とした三角形になっており、隅柱は1本になっている）の1階柱脚のコンクリート打ち継ぎ部分に水平のひび割れと被りの軽微な剥離はある（写真59）が、その他の構造躯体の損傷は軽微である。1階から5階程度までの下層階を調査したが、梁端に幅1mm程度以下の曲げせん断ひび割れが散見された。一方、フレーム内のレンガ壁には仕上げのせん断ひび割れや剥離が数多くあり、レンガ壁の補修箇所はかなり多くなりそうな状況である（写真60）。

復旧可能性の判定では、B判定で軽微な補修で復旧可能と判断されていた（写真61）。

構造設計担当者（中国建筑西南設計院）によれば、法規上は設計震度6のところを、震度7

に対して設計したとのことである。現地で、構造図面を参照することができたが、ラーメン配筋図は無く、柱梁接合部の配筋詳細(横補強筋の有無)は確認できなかった(写真62)。



写真58 劍南春大酒店の全景



写真59 1階丸柱の打ち継ぎ部分の水平のひび割れ



写真60 レンガ壁の損傷



写真61 復旧可能性のB判定(補修で復旧可能)

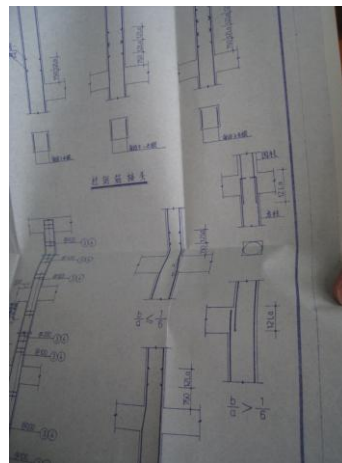
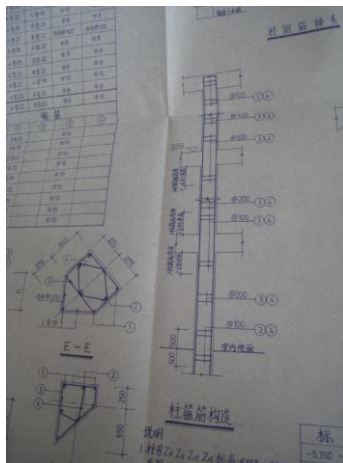
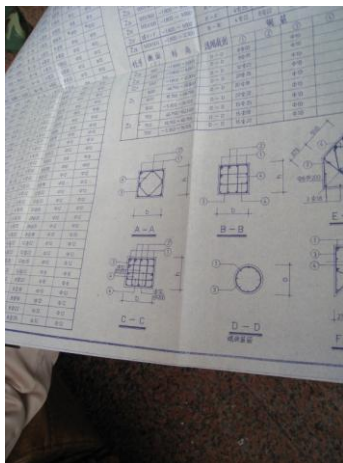


写真62 劍南春大酒店の構造設計図面

15:30 【劍南春集團公司（メインオフィス）】

5階建てのRC造フレーム構造で、1974年竣工の酒造会社・劍南春の建物である（写真63）。1階柱の断面は400mm×300mm、または、400mm×400mmと比較的小さいが、標準のスパン長が4mから6mで、床面積に対する柱本数が多い構造計画となっている。床の構造は、大梁やT字型の小梁の上にPCa床板を並べた形式である（写真64）。

RC造架構では、2階柱の1本に幅1mmを超えるひび割れ（損傷度Ⅲ程度）が生じている（写真65）。フレーム内のレンガ、CB壁にはひび割れが多数生じており、部分破壊した壁もあった（写真66）。構造躯体の損傷が比較的軽微であったのは、スパンが短く柱本数が多い構造計画であったためとも考えられる。

趙世春教授によれば、レンガ壁などの非構造材の補修・補強に時間と経費を要するため、建物所有者は建て替えを検討しているとのことである。



写真63 劍南春集團公司の全景



写真64 PCa床板による床スラブ

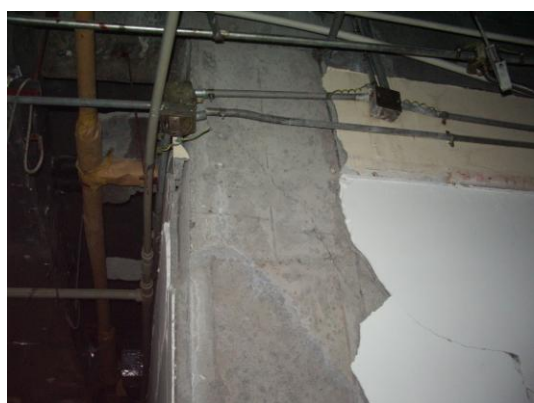


写真65 柱頭せん断ひび割れ（損傷度Ⅲ）



写真66 ブロック壁の損傷状況

【建設中の集合住宅（劍南春集團公司敷地内）】

建設中の集合住宅で、調査時には5階の配筋工事中で下層部はRC造フレームとレンガ壁の施工が終了しているが、仕上げは未了の状態である（写真67）。構造はRC造フレーム（バルコニー部分）とレンガ先積みの枠組み組積造（住居部分）の混合構造である（写真68,69）。趙教授によれば、このような混合構造は、設計指針（基準？）では想定していないが、現実の施工ではしばしば見られるとのことである。また、中国では数年前に環境保護の観点

からレンガの製造、使用が禁止されたが、現実には今でも建設に多用されているとのことである。

レンガ壁には、目地部のせん断ずれによるひび割れが見られた（写真70）。

5階で配筋中の柱主筋の継手には、圧接継手を使用されているが（写真71）、どのような施工管理を行っているかは不明である。



写真67 建設中の集合住宅の全景



写真68 バルコニー部分はRC架構で住居部は組積造



写真69 先積みレンガ+枠組みの壁



写真70 レンガ壁のせん断ひび割れ



写真71 柱主筋の圧接継手

16:30 【剣南春酒造工場】

剣南春の酒造工場建物で、RC造フレーム構造である。下図のようにコの字型の平面で、建物正面部分は5階建て、両側面部分は4階建てである（写真72）。代表的な柱断面は、500mm

×500mmで、主筋8-D22、横補強筋：φ10@200であった。

正面部分は2層で層崩壊し、3階から上階が2階床に落下している（写真73）。正面側の破壊状況は2階の柱頭が完全に破壊し、柱と柱梁接合部が分離している状態で、2階柱の柱頭より下は原形をとどめていることから、柱のせん断破壊ではなく柱頭部の破壊が層崩壊の原因と思われる（写真74）。また、レンガ壁も大きく損傷し部分的な崩落も生じている（写真75）。

4階建ての側面部分の片方は、大きな酒造タンクを多数格納している建物で、1層が崩壊して、内部の酒造タンクも大きく傾斜するなどの被害が生じていた（写真76,77）。腰壁により短柱化した1階柱のせん断破壊も生じた（写真78）。

4階建ての側面部分のもう一方には、1階柱のせん断破壊、および、柱頭の圧壊（写真79）などの損傷が生じたが、倒壊はかろうじて免れている。

この工場は休憩時間が15:00まで（地震発生は14:28）であったため、幸いなことに建物崩壊による死亡者はなかったとのことである。

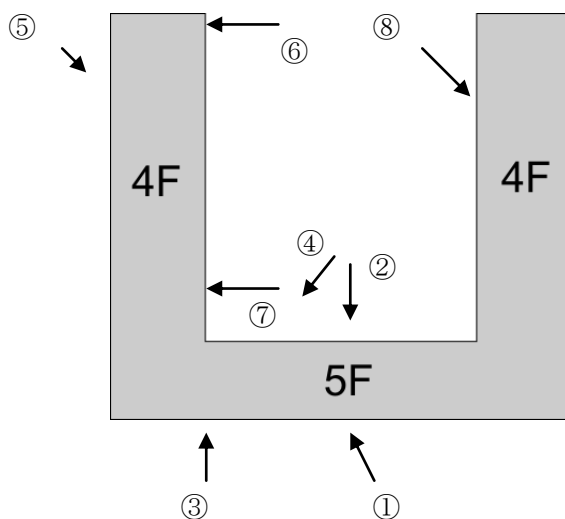


図 剣南春・酒造工場の略平面図



写真72 酒造工場の正面全景（図中①）



写真73 2階の層崩壊部分（②）



写真74 層崩壊した部分のアップ (③)



写真75 大破したレンガ壁 (④)



写真76 酒造タンクのある4層部分 (⑤)



写真77 1層崩壊した柱頭の損傷 (⑥)



写真78 1階短柱のせん断破壊 (⑦)



写真79 柱頭部の破壊 (⑧)

17:10 剣南春酒造工場 出発

19:10 西南交通大学鏡湖賓館 着

19:40 夕食

調査結果の整理作業
西南交通大学鏡湖賓館 泊

<余談>

都江堰では、住宅が全壊した住民に対して、(1) 地方政府が70㎡の住宅マンションの現物支給、または、(2) 2000元/㎡×70㎡=14万元の見舞金の支給をする方針とのことである。

(3) 6月22日 (第3日目)

08:05 成都市の北西に位置する都江堰市に向けて出発 (計14名)

日本側：中埜、前田、迫田、坂下

中国側：趙世春、張建経、他8名

08:55 高速道路を利用し、都江堰市内へ到着

09:10 都江堰の山際にある建設現場において、躯体工事が完成している建設中の建物①～⑤を調査した。

【6階建て施工中の集合住宅①】

この建物は、10棟程度の集合住宅が建つ山間の大きな建設現場の入口付近に位置する。外観はタイル貼りで、鉄筋コンクリート構造6階建ての建物であり、長辺方向が南北方向となっている (写真80)。コンクリートはレディーミクストコンクリートが用いられているとのことであった。2階から6階の外壁と間仕切り壁にはレンガ壁が用いられているが、1階にはレンガ壁が無いため1階剛性が低いピロティ建物である。階高は3m、柱の内法高さは2.2m、柱は450mm×650mmであり、サッシや内装仕上げは施工されていないが、RCフレームとレンガ壁は完成している。構造被害は1階の柱に集中し、残留変形角が1/10程度(2箇所計測し、95/1000と85/1000)と大きく層崩壊寸前である (写真81)。柱頭および柱脚では、ほとんどの柱で曲げ圧壊し、せん断補強筋の折り曲げ部がコアから抜け出し、コアコンクリートが崩壊して主筋が座屈していた。一部に破断している主筋も見られた (写真82,83)。

水平方向に変形が大きく柱の軸ひずみがある事から、復旧は容易ではないと思われる。復旧を行なうのであれば、ジャッキアップや、柱の補修、耐震壁の設置を行なうなど大掛かりな工事が必要になると思われる。

中国では建物に対する保険が無く、ディベロッパーが大きな損失を出しているだろうとの説明を受けた。

建物は大破しているが、サポートを建てる等の応急措置はなされていなかった。また、3週間前よりも損傷が進行した印象を受けた。(中埜)



写真80 建物全景



写真81 建物1階に残留変形



写真82 柱脚主筋の破断



写真83 側柱柱頭の曲げ圧壊（損傷度V）

【長柱の杭を有する住居②】

この建物はRC躯体とレンガ工事は完了しているが、杭（長柱）が埋め戻されていない。杭部分が埋め戻されると、地上3階建てとなる（写真84）。地面を5m程度切り土して杭先端を独立フーチングとして施工したものである。

地盤を掘削していたため近づくことはできなかったが、杭頭接合部にせん断ひび割れが確認された（写真85）。

また1階柱脚が曲げ降伏してコンクリートが圧壊し、剥落している箇所もあった。

この建物の販売価格は、15000元/m²（23～24万円）であり、現地では高級住宅である。



写真84 杭埋め戻し前の建物全景



写真85 杭頭柱梁接合部のせん断ひび割れ

【1階RC壁付駐車場2-3階RCフレーム構造住宅③】

3棟の同じ構造形式の建物が山際の傾斜地に隣接して建設され、中央の一棟が2階で層崩している(写真86,87)。1階道路側に駐車場を設けており、ボックスカルバートのようなRC壁構造となっている。駐車場の裏側の山際では、独立フーチングの上に直接柱が施工され、これから埋め戻される予定であったのではないかと推察される。

道路側から見て右側の建物ではレンガ壁のせん断ひび割れが見られた。中央の建物では、2階が層崩壊し、3階部分が道路側に傾斜した。裏山の地盤にはアースアンカーが施工されているが、数本の柱は地表面の独立基礎が地盤の強制変位により滑動し、柱頭が曲げ破壊し崩壊していた(写真88)。左側の建物でも、1階柱頭が数本曲げ破壊し、鉄筋が露出していた(写真89)。2階レンガ壁にせん断ひび割れは見られたが、倒壊は免れた(写真90,91)。



写真86 層崩壊した中央建物全景



写真87 2階層崩壊により道路側に傾斜



写真88 中央建物の山側ピロティ柱の崩壊



写真89 地盤変状が原因と思われる柱の損傷



写真90 レンガ壁のひび割れ



写真91 レンガ壁のひび割れ

【集合住宅のエントランスゲート④】

同じエントランスゲートが2基あり、1基は転倒し、もう1基は大きく傾斜していた。GL-50cm程度の深さに施工された独立基礎は埋め戻されていない（写真92）。



写真92 エントランスゲートの転倒

【擁壁前RC造集合住宅⑤】

20m程度の擁壁の山側の傾斜地に、5階建て集合住宅が2棟建設されていた（写真93～95）。正面左側のレンガ壁の施工が完成していた建物では、上部構造の被害が目立ち、レンガの腰壁によって短柱化した柱のせん断破壊が生じていた（写真96）。正面右側のレンガが施工されていない骨組だけの建物では、建物前方の擁壁にひび割れが生じ、傾斜し、擁壁下部から土砂が大量に流出している箇所があった（写真97～99）。それに伴い、建物の不同沈下が起こり、独立基礎の部分が強制変位を受け、擁壁側に柱脚を引きずられていた（写真100）。

骨組だけの建物の梁断面：200mm×400mm

骨組だけの建物の柱断面：500mm×500mm（1階）

400mm×400mm（2階） 主筋：四隅は4-D22

中間主筋はφ10



写真93 傾斜地に建設中の2棟の集合住宅



写真94 レンガ壁が施工された建物全景



写真95 骨組だけの建物全景



写真96 短柱と長柱が混在により短柱がせん断破壊



写真97 擁壁の傾斜



写真98 土砂の流出



写真99 擁壁下部から土砂が流出



写真100 基礎が強制変位を受け不同沈下

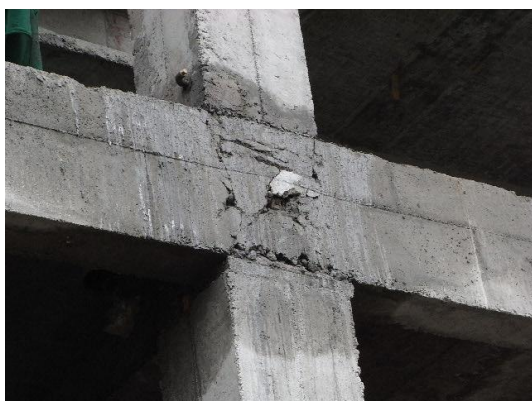


写真101 接合部のせん断ひび割れ



写真102 接合部の破壊

なお、この建設地の地盤は粘土質であり、至る所に水溜りが目立ったが、このような粘土質の表層地盤に杭となる柱が直接支持されていたことも被害に繋がる要因のひとつであったと考えられる。

11:30 出発

11:35 【國堰賓館（ホテル）新館 7階建て】

この建物は、鉄筋コンクリート造の壁式ラーメン構造であり（写真103）、柱は厚さ200mmのL型やT型の断面が使われている。柱にはせん断ひび割れが生じた箇所もあるが損傷は比較的軽微である。コンクリートの打ち継ぎが損傷を誘発したと思われる箇所があった（写真104,105）。一方で架構に充填したブロック壁にはせん断ひび割れが多数見られ、仕上げのモルタルが剥落しているところも多い（写真106）。構造躯体は小破であるが、ブロック壁、レンガ壁については大破であった。また、階段に水平方向のひび割れが生じていた。壁柱の設計では、壁の幅と厚さの比で分類し、5以下では柱扱い、8以上では壁扱いとなり、その中間は規定が無いので適切に判断してどちらかに分類するとの事であった。



写真103 新館建物全景



写真104 柱頭打ち継ぎ部の損傷



写真105 柱頭のせん断破壊



写真106 建物妻面の仕上げモルタルの剥落

【國堰賓館（ホテル）本館 13階建て】

この建物は鉄筋コンクリート造の純ラーメン構造であり、構造被害は軽微であるが、ブロック壁やレンガ壁はせん断破壊し、仕上げが剥落している箇所も多数あった（写真107～109）。

天井の点検口から見える範囲では、柱・梁のコンクリートの品質は比較的良質であった（写真110）。

客室の妻壁面は3m程度の片持ち梁の先端に取り付いており、床スラブ上に1mm程度のひび割れがあったが、現場の目視調査からは長期荷重の支持能力などの問題は無いように思われた。

6階の梁端1箇所では1mm以下のせん断ひび割れを確認した。



写真107 建物全景、開口周辺のせん断ひび割れ



写真108 館内案内図

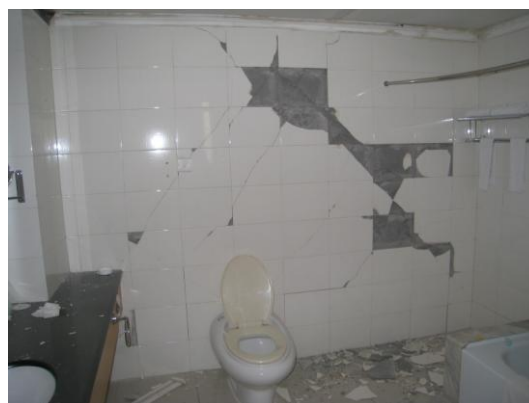


写真109 浴室の仕上げタイルの剥落



写真110 点検口等から見える躯体コンクリートの品質は良好

12:20 出発、玉墨名居前で昼食

12:45 【玉墨名居街区 (写真111,112)】

瓦屋根の3階建て商業ビルや、6階建ての集合住宅からなる街区であり、街区は2つの交差する大きな道路に面している。道路沿い（観景路）には、瓦屋根の3階建て商業ビルが2棟並び、1棟は倒壊して（写真113）柱頭と柱脚の鉄筋が露出し（写真114）、もう1棟はレンガ造の腰壁により短柱化した1階柱がせん断破壊していた（写真115,116）。

直交する道路（蒲陽路）に面して6階建ての店舗付き集合住宅が3棟並んでいた。1棟は1階でレンガ壁の部分的な崩落が見られ（写真117）、中央の建物は完全倒壊して瓦礫となっており（約200名が亡くなったとの事）、もう1棟は1階と2階の妻面のレンガ壁が崩壊し（写真118）、1階柱頭の鉄筋の座屈やコンクリート剥落が見られた（写真119）。梁端ではせん断破壊が起こり、たわみが生じている（写真120）。

道路に面した建物は、1階が店舗で壁が少ないのに対して、内側にある10棟以上の5～6階建て集合住宅は、1階も住居であり、各階同程度の壁がある。これらの集合住宅には、レンガ壁にひび割れが生じたものもあるが、概して被害は軽微である（写真121）。住民は余震を恐れて建物に近づかず、テントでの避難生活をしている人も多く、このような住人が調査中に建物の被害について同行した中国側研究者に説明を求めることがあった（写真122）。



写真111 玉墨名居内の建物配置図



写真112 玉墨名居内の集合住宅



写真113 倒壊した瓦屋根の商業ビル



写真114 崩壊建物の柱頭



写真115 瓦屋根の3階建て商業ビル全景



写真116 レンガ造腰壁による短柱のせん断破壊



写真117 6階建て集合住宅3棟の右側建物



写真118 6階建て集合住宅3棟の左側建物



写真119 左側建物の2階梁のたわみ



写真120 2階梁柱接合部周辺の損傷状況



写真121 集合住宅の被害は比較的軽微



写真122 説明を求める住民

13:20 出発

13:25 【6階建て店舗付き集合住宅】

道路に面して6階建てのレンガ壁構造のほぼ同一構造形式の建物2棟が隣接して建設されている。1階は店舗であり、2階から上部は集合住宅となっている（写真123）。1階のみRCフレーム構造であり、2階から上部では、鉛直部材はレンガ壁のみでRC柱はなく、壁に臥梁をまわし、床はPCa中空スラブを用いている。隣接する2棟のうち、1棟は両妻側の1～2スパンが2階から上部で部分崩壊し（写真124,125）、PCa中空スラブが崩落した（写真126）。もう1棟の損傷は少ない。



写真123 建物全景



写真124 建物右側の2階から上部の部分崩壊



写真125 建物左側の2階から上部の部分崩壊 写真126 PCa中空スラブの崩落

13:35 出発

14:40 【西南交通大学内6階建て建設中RC造】

本建物は西南交通大学の構内に位置し、完成すると6階建てとなるRCラーメン構造の建物であり、調査時には、地下1階のスラブコンクリートの打設が一部で完了した状態で工事が停止していた（写真127,128）。地下1階スラブが打設されたのが地震発生の3日前であったため、コア抜きを行い圧縮強度試験による強度の確認が行なわれた。

四川省では、地震発生前4日以内にコンクリートを打設した建物については、四川省の担当者が承認した場合のみ工事を再開でき、それ以外は4日以内に打設したコンクリートを撤去して再び施工することとなるとのことであった。

この現場では、地震の3日前にコンクリートの打設が行なわれたが、コアを採取し圧縮強度の確認によって本震に対して工事継続の承認が一度出された。しかし、二回目の地震（余震）に対してはこの時点では承認が出されていないので工事は中断中であった。

コンクリート打設直後に地震を経験した建物の工事継続の可否の確認については、1999年集集地震における台湾のマニュアルを参照しているとの事であった。

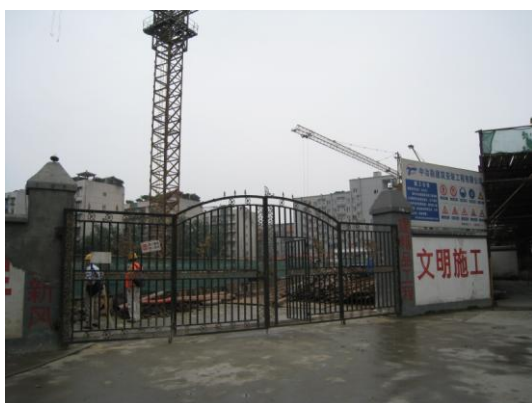


写真127 建設現場入口



写真128 地下1階スラブ配筋

【西南交通大学内24階建て建設中RC造】

本建物では、完成すると24階建てとなるが、調査時点では10階部分の躯体を建設中であった（写真129）。階高は3mであり、柱断面は中柱が600mm×600mm、外柱は500mm×600mm、

外柱には500mm×1300mmの扁平な柱もある（写真130）。また、連層耐震壁が用いられている部分もある（写真131）。建物は平面的にコの字型をしているが、エキスパンションジョイントにより、構造的には3つの建物に分けられている。被害については、大梁と小梁の交差部に微細な縦方向のひび割れが見られ、四川省の担当者は、「ひび割れは地震の影響」と判断したとのことであるが、ひび割れ発生箇所から考えて、我々は地震以外の原因による可能性が高いと判断した。



写真129 建物全景



写真130 建物の内観



写真131 RC造耐震壁

16:15 西南交通大学鏡湖賓館 着
西南交通大学鏡湖賓館 泊

<被災調査全般に関して>

今回調査したRC造建物では、中柱の断面が側柱や隅柱より大きくしている建物が多く、長期荷重に対する設計の影響が大きいという印象を受けた。

RCフレーム構造が多く、レンガ壁が多用されていた。レンガ壁のスパン中央にはRC間柱が内蔵されているが、梁との接合には差し筋（1-φ10）程度しか用いられてなかった。

RC耐震壁は大学内に建設中の24階建て高層ビル1棟以外は見られなかった。

(4) 6月23日 (第4日目)

「地震により損傷を受けた建物の診断と補修方法に関するセミナー」に向けた準備、および「盛り土、トンネル、橋梁、斜面の復旧技術に関するワークショップ」の聴講
西南交通大学鏡湖賓館泊

(5) 6月24日 (第5日目)

「地震により損傷を受けた建物の診断と補修方法に関するセミナー」の開催
(西南交通大学鏡湖賓館多功能庁)

セミナーには四川省西南建築設計院、成都建築設計院、鉄道省第二設計院などから約 90 名の実務設計担当者の参加を得た。

09:00 セミナー開始 (通訳：呉旭氏、(株) 応用地質)

挨拶 (西南交通大学・趙世春教授)

挨拶 (中埜)

09:20 写真撮影

09:30 講演 (中埜)

・「四川地震による建築被害の概要」

今回の復旧技術支援チームの現地調査 (先遣隊の調査も含む) により得られた被災建築物の特徴的な被害を整理して写真を中心に紹介し、過去の海外での被害事例と対比しながら、解説した。

・「日本の被災建築物の復旧 (基本的な考え方)」

日本の「応急危険度判定」ならびに「被災度区分判定」の位置づけや適用の流れを説明した。日本を含む各国の過去の地震における様々な建築物の被害や応急措置、復旧事例について、写真を用いて紹介し解説した。

11:00 講演 (前田)

・「日本における被災建築物の被災度判定と復旧」

日本の「被災度区分判定基準」の具体的な内容について紹介した。部材の損傷度の判定法、残存耐震性能率 R の計算方法、それに基づく応急復旧・恒久復旧の要否と程度の判定方法を紹介し、6月14日岩手・宮城内陸地震で被災した建物を例題として、適用方法の解説を行った。また、「耐震診断基準」の I_s 値の基本概念も説明した。

12:20 昼食

14:10 講演 (迫田)

・「被災した建物を実例とした日本の応急復旧技術の紹介」

都江堰市で被災した実在する6階建て集合住宅を例題建物として、日本における被災度区分判定手法を適用した場合の被災程度の判定、ならびに本建物に対して考える復旧方法案6例を提示した。

16:00 フリーディスカッション

復旧・復興に関する一般的な考え方、日本側から提案された上記復旧方法に関して、その具体化の可能性、具体化に当たり障壁となる問題点、その解決方法、などについて、詳細

かつ実務的・具体的内容を含む事項について意見交換を行った。

17:50 セミナー終了

西南交通大学鏡湖賓館泊



Sino-Japan Seminar on Techniques for Rehabilitation and Reconstruction after the Sichuan Earthquake—Architecture Construction
Southwest Jiaotong University-Chengdu-China June, 24, 2008

(6) 6月25日 (第6日目)

- 13:00 成都発 北京經由 成田行 CA421便 21:00着 (中埜、前田、迫田)
- 11:00 成都発 北京行 CA4115便 13:30着 (坂下)
- 16:35 北京発 関西行 CA161便 20:10着 (坂下)

■付録1 西南交通大学への寄贈図書・資料リスト

【応急危険度判定関係】

- [1] (財) 日本建築防災協会, 全国被災建築物応急危険度判定協議会: 被災建築物応急危険度判定マニュアル, 1997.11.
- [2] 同上 第一編 (応急危険度判定基準) および第四編 (鉄筋および鉄骨鉄筋コンクリート造建築物等の応急危険度判定マニュアル) (中国語翻訳版)
- [3] Takashi Kaminosono, Fumitoshi Kumazawa and Yoshiaki Nakano: Quick Inspection of Damaged Buildings Quick Inspection Sheet and Application Guidelines, Istanbul Technical University and JICA Expert Team, 1999.9.
- [4] (財) 日本建築防災協会: Post-earthquake Quick Inspection of Damaged Buildings, <http://www.kenchiku-bosai.or.jp/english/file/epanfall.PDF>

【被災度区分判定基準関係】

- [5] (財) 日本建築防災協会: 震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針, 2001.9.
- [6] (社) 日本建築学会: 1999年台湾・集集地震災害調査報告および応急復旧技術資料, 2000.11.
- [7] 内政部營建署, 中華民國建築學會, 日本建築學會: 建築物耐震評価及補強研討會資料集【1999.9.21.集集地震受災鋼筋混凝土學校建築之補強技術資料】, 1999.11.
- [8] Yoshiaki NAKANO, Masaki MAEDA, Hiroshi KURAMOTO, and Masaya MURAKAMI: GUIDELINE FOR POST-EARTHQUAKE DAMAGE EVALUATION AND REHABILITATION OF RC BUILDINGS IN JAPAN, Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering (CD-ROM), Canadian Association for Earthquake Engineering, 2004.8.

【耐震診断・耐震補強関係】

- [9] (財) 日本建築防災協会: 2001年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準 同解説, 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針 同解説, 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針適用の手引, 2001.10.
- [10] (財) 日本建築防災協会: Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001, Guidelines for Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2001, English Version, 1st, 2005.1.
- [11] 同上 CD-ROM
- [12] Yoshiaki NAKANO, SEISMIC REHABILITATION OF SEISMICALLY VULNERABLE SCHOOL BUILDINGS IN JAPAN, RDD (Regional Development Dialogue), Vol. 28, No. 2, pp. 66-78, United Nations Centre for Regional Development, 2007.12.

【その他】

- [13] (社) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説 (第4版), 2003.11.