

第5章 建築物の被害の特徴

5.1 四川地域の一般的な構造形式と被害パターンの分類

四川地域の一般的な建築物の構造形式としては、枠組み組積造が挙げられる。この構造は、レンガブロック（以下、「レンガ」と呼ぶ）の壁の周囲を鉄筋コンクリート造の柱とはりで囲った構造であり、世界的にもポピュラーな構造形式である。また、都市部では鉄筋コンクリートラーメン構造（鉄筋コンクリート造の柱とはりの架構で構成される構造形式）の中に中空のレンガを充填したものも多く見られる。これは、前者の枠組み組積造と似ているが、柱と梁の断面寸法が大きく、また、レンガの壁を取り払って広いスペースを確保することが出来るところが、異なる点である。また、1階が店舗で2階以上が住居として使われる建築物では、店舗のスペース確保のために、1階のみ鉄筋コンクリートラーメン構造とし、2階以上は枠組み組積造としているものも多く見られる。この形式では、2階以上の戸境レンガ壁の直下に1階の戸境レンガ壁がないこともあり、これは、兵庫県南部地震において被害が多く見られたいわゆるピロティ構造（下階壁抜け構面を有する構造）と同様な構造形式である。また、山間部の比較的小規模な住居等では、鉄筋コンクリート造の枠組みを有しない、純粋な組積造も多く見られる。

四川地域で見られた典型的な建築物の被害パターンは、以下のように分類できる。次節以降では、各被害パターン毎にその特徴を記載する。

- (1) 1階の破壊
- (2) 2階の破壊
- (3) 短柱のせん断破壊
- (4) 柱頭・柱脚の曲げ破壊、または接合部分での破壊
- (5) 階段の取り付く柱の破壊、階段スラブの破壊
- (6) 基礎と上部構造のずれ
- (7) 非構造壁の破壊・脱落

5.2 1階の破壊

写真 5.1~5.4 に見られるように、建築物の1階が破壊し2階以上の部分が落階する（もしくは、落階しそうになっている）被害形式であり、次のような原因が考えられる。

写真 5.1~5.2 は枠組み組積造、写真 5.3 は組積造であるが、これらの構造では一般に全層で同じ断面や配筋とすることが多いため、各階の耐力はほぼ同じである。一方、地震力は一般に1階が最も大きいため、相対的に1階が最も壊れ易くなる。もし、組積壁の量が充分にあって、その強度で地震時に発生する力に抵抗できる場合には安全な構造形式となるが、地震時の力に対して組積壁の耐力が不足する場合には、1階が破壊され層崩壊を生じる危険性がある。もともと相対的に弱い1階の組積壁が損傷すると、その剛性と耐力が低下するため、さらに被害が1階に集中するという危険な破壊につながる可能性がある。このような、1階に被害が集中する現象は、張間、桁行の両方向ともに考えられる。なお、1階が損傷を受けた段階では、下階壁抜け架構に近い状況となるため、これまでに日本で被害が多く見られたピロティ構造と同様な状況となる。また、日

本と同様に、鉄筋コンクリート造の下階壁抜け部分で1階の柱が大きく損傷した例も見られた(写真5.4)。

このような破壊を防止するためには、周辺フレームにより組積壁の拘束の度合いを高めたり、壁や柱・梁の断面を大きくして層の抵抗力を高めることが考えられる。このような工夫を施した場合の効果(面内の剛性と抵抗力)を実験等によって調べることであり、その結果を適切に設計に反映させることは可能であるが、前提条件として、壁の面外破壊は適切に防止されていなければならない点(一体性、つまりインテグリティの確保)に注意が必要となる。



写真 5.1 1階が完全に崩壊した学生寮(映秀) 写真 5.2 写真 5.1 の妻面の1階部分



写真 5.3 1階が大きく破壊された組積造(漢旺)

写真 5.4 梁間方向の下階壁抜け部分で大きく損傷した1階の柱(都江堰)

5.3 2階の破壊

1階は比較的健全であるが、2階に破壊が集中している被害形式(写真5.5)であり、

次のような原因が考えられる。

1階が鉄筋コンクリートラーメン構造で2階以上が枠組み組積造である複合構造の場合、1階の鉄筋コンクリート造柱に比べ、2階の枠柱の断面が極端に小さくなっている場合が多い(写真5.6)。梁間方向の耐力は組積壁の量に依存するが、桁行き方向の耐力は組積壁の量が少ないので柱の強度にそのまま依存する。2階の柱は小さく、組積の袖壁が取り付いているが、この袖壁は比較的小さな変形で破壊するため、結果として桁行き方向の耐力は1階に比べて2階は小さい。このため、2階に破壊が集中したものと考えられる。

なお、桁行き方向の柱の位置が、1階に比べて2階の方が外側に張り出している場合があるが、その場合には、2階の柱を支える梁に大きな力が作用することからせん断破壊している場合がある(写真5.7)。

このような破壊を防止するためには、桁行き方向の応力伝達と組積壁の取り扱いを明確にするのが有効である。すなわち、組積壁を構造体とするのであれば、その効果を実験等によって調べ、結果を適切に設計へ反映させればよい。そうではなく、組積壁を無視するのであれば、組積壁が悪影響を及ぼさないように留意し、かつ、鉄筋コンクリート造のフレームのみで地震力に抵抗できるよう、適切に断面設計を行う必要がある。



写真 5.5 2階に被害が集中した建物(都江堰) 写真 5.6 写真 5.5 の1階柱と2階柱の接合部



写真 5.7 1階柱と2階柱をつなぐ梁のせん断破壊（都江堰）

5.4 短柱のせん断破壊

柱が曲げ降伏する前にせん断破壊で脆性的に壊れる被害形式（写真 5.8）であり、多くの柱がせん断破壊すると、落階の危険性もある。

その原因は、柱に腰壁等が取り付くことで内法長さが短くなり、せん断力が大きくなるが、柱のせん断耐力がそれを上回っていないことである。

この破壊を防止する対策としては、短柱の場合の大きな入力せん断力よりも柱のせん断耐力が上回るように、多くのせん断補強筋を配する等の設計を行うことである。ただし、腰壁が先に壊れて短柱とはならない場合もあり（写真 5.9）、そのコントロールは容易ではない。このような壁が取り付く柱の挙動を実験等によりよく調べる必要がある。これは、そのまま日本にもあてはまる課題である。



写真 5.8 短柱のせん断破壊（都江堰）



写真 5.9 腰壁が先に壊れて短柱とはなら

なかった柱（写真 5.8 と同じ建物）

5.5 柱頭・柱脚の曲げ破壊、または接合部分での破壊

柱の頭部および脚部で曲げ破壊し、鉄筋の座屈やコンクリートの圧壊等が見られる破壊で、最終的にはその階で倒壊する危険性もある。

原因は、梁よりも先に柱に塑性ヒンジが出来ることであり、一般に推奨されている梁降伏先行型の考え方が実現できていないためである。この破壊を防止するためには、柱軸力を考慮した上で、柱と梁の曲げ耐力比を適切に設定するといった適切な設計が求められる。日本では 1995 年の兵庫県南部地震で梁よりも柱の先行降伏やせん断破壊が見られたことから、例えば全体崩壊形を目標とする設計体系（日本の耐震規定におけるルート 2-3）では、確実に梁降伏を先行させるような規定の改訂が行われた。



写真 5.10 柱頭の曲げ破壊（映秀）



写真 5.11 柱頭・柱脚の曲げ破壊（映秀）

5.6 階段の取り付く柱の破壊、階段スラブの破壊

写真 5.12 は階段が取り付く柱の破壊であり、特に短柱となった柱の部分では、大きな強制変形を受けるために 5.5 の「柱頭・柱脚の曲げ破壊」が生じ易くなり、また、大きなせん断力が作用することにより 5.4 の「短柱のせん断破壊」も生じ易い。これらに起因する損傷が進むと、落階につながることもあり得る。この対策としては、階段も考慮して架構の応力を算定するか、階段に壁を設けて水平力を伝達できるようにするといった方法が考えられる。なお、日本では階段に作用する水平力は階段が取り付く壁に負担させるか、もしくは隣接する建物に負担させる設計が一般的であるが、このような抵抗要素の明確化は有効な設計上の考え方であると思われる。



写真 5.12 階段が取り付く柱の破壊（映秀）

5.7 基礎と上部構造のずれ

写真 5.13 は、基礎梁と上部構造の枠組み組積造の間にずれが生じた被害形式である。この原因としては、写真 5.14 に示すように、枠柱の主筋が基礎梁に緊結されていないことがあげられる。

ただし、多少のずれであればこれを許容することにより、上部構造への入力せん断力を小さくしてその被害を軽減できる可能性もあり、今後研究的に検討すべき課題と考えられる。



写真 5.13 基礎と上部構造のずれ（映秀） 写真 5.14 基礎と柱脚の詳細（映秀）

5.8 非構造壁の破壊・脱落

写真 5.15 のように、組積造の壁は比較的小さな変形でせん断破壊などの大きな損傷を受けやすい。しかしながら、写真 5.16 のように、柱やはり健全であれば、建築物の耐震性能はほとんど低下していないと考えられることから、脱落の危険性を除けばこのような被害は許容されよう。しかしながら、地震後の建物の機能性を考慮することも今後次第に求められてくると思われることから、そのような要求をいかに適切に充足してい

くかは今後の重要な検討課題の一つである。



写真 5.15 組積造方立て壁のせん断破壊
(都江堰)

写真 5.16 非構造壁の破壊 (漢旺)

5.9 まとめ

本章では、被災地域で多く用いられている枠組み組積造と鉄筋コンクリートラーメン構造の建築物について、被害パターンを分類しそれぞれの特徴を示した。その多くは日本の過去の被害事例でも同様に見られたものであり、日本の技術・知見がこれらの建築物の設計に有用な情報となり得る。しかし、地震後の建物の機能性の観点から非構造部材の損傷をいかに制御するか、基礎の固定度を下げて建物への地震入力を低減する設計を許容し得るか等、現在の知見では解決し難い問題を提起する被害事例もあり、それらについては今後研究を進める必要がある。