

第5章 まとめ

2017年9月19日に発生したメキシコ中部地震は、メキシコシティを含むメキシコ中部にて甚大な地震被害をもたらした。その32年前には発生日を同じくして1985年メキシコ地震が発生しており、当地ではこの地震を機に地震観測網が拡充され、また地震動特性と地盤増幅の評価、構造物の地震時挙動の解明等に係る研究が精力的に進められてきた。これらの成果は、数度の改正を経た耐震基準にも反映されている。このような地震工学上の先進的な取り組みが行われている当地において、今回の地震被害の調査を通し、これらの取り組みの成果を踏まえた耐震基準の現況や効果、あるいは今後の防災対策の動向等を把握することは、我が国の建築物等の地震対策を検討する上でも、大きな意義を有するものと考えられる。

本報告書は以上のような状況認識の下に、2017年メキシコ中部地震発生後から約2カ月後に行ったメキシコシティでの地震被害調査結果を報告したものである。

第2章においては、1985年以降の地震力規定（主に設計用加速度応答スペクトルを規定した部分）を概観するとともに被害調査建築物周囲で観測された地震記録を分析し、2004年以降の耐震基準による設計用加速度応答スペクトルとの関係を検討した。

2004年以降の耐震基準による設計用加速度応答スペクトル設定の背景にある考え方は以下のよう
にまとめられる。

- i) 地震力を規定するための参照点での地震動特性を地震のタイプ別(沈み込み帯で生じる地震と中間深さで生じる地震)に特定し、これらを包絡する設計用の加速度応答スペクトルを設定する
- ii) 参照点に対する増幅特性を高密度に配置された地震観測点での地震記録分析結果に基づき評価し設計用加速度応答スペクトルに反映させる

今般の地震は地震のタイプ別で言えば、中間深さで生じる地震であり、参照点での加速度応答スペクトルは比較的短周期の範囲にピークを有する特徴を有する。また、長周期の範囲では1985年の地震の場合ほど加速度応答は増幅されていない。こうした参照点での特性を基に他地域での地震動特性を考えた場合、長周期の地震動が増幅され易い盆地の底のLake Zoneよりは、それよりやや卓越周期の短いTransition Zoneで、より地震動が増幅され易くなると予想される。実際、観測記録から求めた加速度応答スペクトルのピーク値が設計用加速度応答スペクトル(2017年改正基準による)のものと同等かやや上回るのは、Transition Zoneにおいてである。今回、観測された地震動の特性は、メキシコシティ耐震基準における設計用加速度応答スペクトル設定の基となる考え方から説明づけられるものであり、中間深さで生じる地震が発生した時に起こり得る事象として、十分想定され得るものであったと考えられる。

第3章においては、第2章での地震記録分析結果を参照しつつ調査建築物の被害状況を示した。加速度応答スペクトルのピーク値が2004年以降の耐震基準による設計用加速度応答スペクトルのピーク値と同等かそれをやや上回る地震記録が観測された地域においては、築年の古い建築物に倒壊、崩壊に至る深刻な被害が見られたほか、比較的築年の新しい建築物においても被害を生じたものが見られた。耐震基準において大地震に対する損傷が許容される以上、築年の新しいものであってもある程度の被害が生じることは想定範囲内であったと思われる。一方、加速度応答スペクトルのピーク値

が比較的小さい地域においても、築年が古い建築物において倒壊・崩壊した被害事例が見られた。

第4章においては、メキシコシティ耐震基準を概観し、非線形応答に関する応答低減係数及び余剰強度係数を考慮した場合の被害地域での設計用加速度応答スペクトルと地震記録による加速度応答スペクトルとの関係を検討した。1985年以降の基準による場合には、地震記録から評価した層せん断力が、現行の耐震基準で必要とされる建築物の弾性限界または降伏層せん断耐力に達しない被害地域においても、1976年の基準による場合には、層せん断力が建築物の弾性限界又は降伏層せん断耐力を明らかに上回っていた可能性があることを示した。

2004年以降のメキシコシティ耐震基準では、適用地域に影響を及ぼす地震のモデルをかなり具体的に特定し、また、各地点の増幅特性を、高密度に配置された地震観測点から得られる地震記録の分析結果に基づき詳細に評価している。地震動に係る高度な研究成果が、実用的な耐震基準のレベルにまで反映、活用されていると言える。第2章に示したように、2017年耐震基準では、設計用加速度応答スペクトルを規定するパラメーターがGIS上で示されており、これにより建設地点毎に設計用加速度応答スペクトルの設定が可能となる。この設計用加速度応答スペクトルを参照することで、地震動が増幅され易い地域をより詳細に推定することが可能となり、地震力評価の精度向上のほか、地震後における被害地域の推定等、各種の防災対策にも有効に活用され得ると考えられる。当地では免震建築物の普及は進んでいないが、このような設計用加速度応答スペクトルを活用することで、免震建築物の有効性を判定することも可能と考えられる。第3章に示した免震建築物の周囲の市街地等、長周期の地震動が増幅しにくい地域を考えれば、長周期の地震動が増幅され易い地域の多いメキシコシティにおいても現在よりは免震建築物がより普及する余地はあるように思われる。

最新の耐震基準による設計用加速度応答スペクトルと、それ以前の設計用加速度応答スペクトルを比較した場合、1985年の改正以降と以前で、明らかに設計用地震力のレベルが異なっている。近隣の観測点でそれほどレベルの大きな地震動が観測されていない地域でも、1985年以前の耐震基準による場合には、地震力に対し建築物の耐力が不足し、これにより倒壊・崩壊に至ったと考えられる被害事例が見られた。1985年以前の建築物の耐震診断・改修が課題と言えるが、重要度の高い既存建築物については、1987年の耐震基準改正時に、1985年以降の基準に適合するよう耐震補強を行うことが義務付けられている¹⁰⁾。第3章において、複数の耐震補強建築物の事例を紹介しているが、1棟の例外を除き当地における耐震補強の有効性を示している。今後は、残存する1985年以前の既存建築物の耐震診断・改修の一層の促進が課題となるように思われる。

現地の見解によれば、築年が比較的新しいものであっても不適切な設計による建築物の場合には大きな被害を受けたとされるが、総じていえば、倒壊・崩壊までに至った深刻な建築物被害は、1985年以前の基準によるものに集中している。1985年以降の基準による場合には必要最低限の安全性は確保され、また、2004年以降の耐震基準では、1985年以降の地震動特性等に関する研究成果が取り入れられ建築物の設計用地震力をより詳細に設定することを可能としている。このように高度化された地震力に係る規定は、メキシコシティでの地形、地盤等の諸条件を前提としており、メキシコシティ以外で同様の規定を策定するためには、別途、基準の適用地域での研究が必要となる。メキシコでは、耐震基準は自治体単位で策定されており、メキシコシティ以外での地域での耐震基準の整備も、今後の課題の一つとして挙げられるように思われる。