

平成時代の地震災害から学ぶ

東京理科大学 理工学部 建築学科 教授 **ながの** **まさゆき**
永野 **正行**

平成時代の被害地震

平成の時代には、国内で非常に多くの地震災害が発生しました。図1はそれらの震央位置と、地震の規模を示す気象庁マグニチュードMを示したものです。気象庁のホームページによれば、平成以前の30年間での最大の死者数は1983年日本海中部地震（M7.7）の104人ですので、2～3頁掲載の災害年表に示したように、平成時代に如何に多くの被害地震が発生したかが分かるかと思えます。

特に国内の災害史で衝撃的であったのが、1995年阪神・淡路大震災、2011年東日本大震災であります。ここでは地震名称である、1995年兵庫県南部地震、2011年東北地方太平洋沖地震を利用したいと思います。この2つ

の地震では犠牲者も多数発生し、平成時代の大きな事件としてメディアでも上位に取り上げられました。また平成時代の被害地震として、九州で初めてかつ同じ地点で震度7を2回記録した2016年熊本地震（M7.3）も記憶に新しいところかと思えます。これらの地震により建築・土木ともに構造物の被害が多数発生し、地震工学・耐震工学の観点からも大きな災害であったと言えます。

本稿では、平成時代に発生した上記3つの地震災害を取り上げ、地盤の揺れ方、建物の揺れ方、震動被害の観点から何が起き問題になったのか、その教訓がどのように活かされてきたかを紹介したいと思います。

1995年 兵庫県南部地震

1995年1月17日の早朝5時46分に、淡路島北部を震源としたM7.3の地震が発生しました。六甲・淡路島断層帯で発生した内陸型地震であります。淡路島北部と神戸の中心部で木造建物を中心とする多数の建物が倒壊し、国内で初めて震度7を記録しました。犠牲者は6,500人を超え、その多くは建物倒壊や

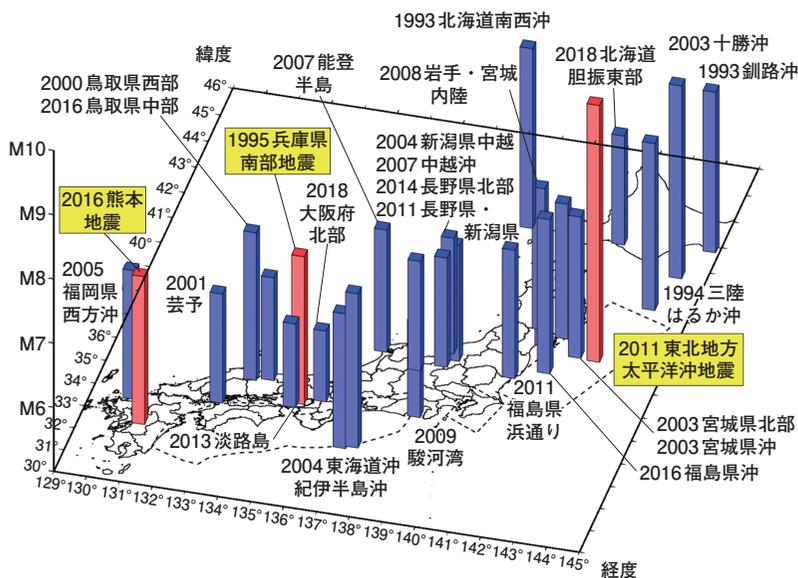


図1 平成時代に国内で発生した主な被害地震（棒の高さはマグニチュードを示す）

家具等の下敷きが原因でした。

神戸市中心部には、東西長さ20km、幅1kmほどの「震災の帯」が現れ、その中には大きな揺れにより多数の建物被害、人的被害が発生しました(図2)。この原因となったのが、周期1秒前後の揺れが卓越するパルス性地震動と、それを増幅させた地下構造でありました。パルス性地震動については後で説明することとし、ここでは、後者の地下構造について詳しく紹介したいと思います。

図3左は、神戸市中心部の南北方向の地下構造の断面を示したものです。六甲山から極めて硬質な基盤が急激に落ち込み、その上に比較的軟らかい表層地盤が堆積する段差構造となっています。1995年兵庫県南部地震時には、この地下構造にパルス性の地震波が震源から伝わってきました。六甲山側の固い地盤

では、地震の波が早く伝わり地表に到達します。一方、表層地盤では地震の波の伝わりが遅く、まだ地表には到達していません。その後、表層地盤では、地震波が徐々に上昇しますが、同時に六甲山側に先回りした地震波が表層地盤の方に伝わります。最後に、表層地盤側で上昇してきた地震波と、六甲山側から回りこんできた地震波が、六甲山麓から少し離れた領域で干渉します(図3右の赤線枠)。この結果、「震災の帯」領域でパルス性地震動が増幅し、多数の建物被害の要因に繋がりました。

これを契機に地下構造の重要性が指摘され、詳細な調査が全国で実施されてきました。近年では、その地域の特性を考慮した地震動であるサイト波を利用した耐震設計が重要構造物では必須となっておりますが、神戸での経験が反映されていると言えます。

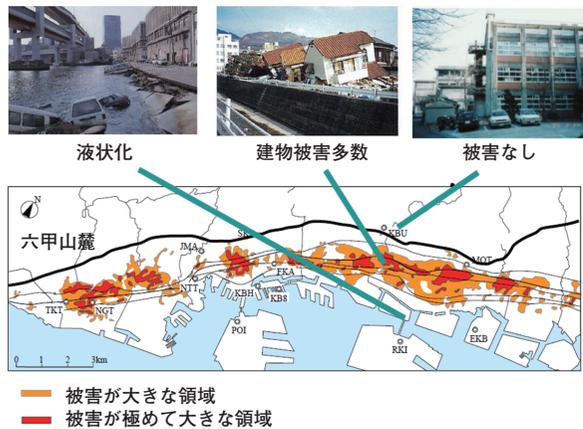


図2 1995年兵庫県南部地震時に神戸市中心部で見られた「震災の帯」

2011年東北地方太平洋沖地震

2011年3月11日14時46分に、東北地方太平洋沖のプレート境界を震源とする海溝型地震が発生し、国内観測史上、最大規模となるM9.0を記録しました。プレート境界の海溝軸から発生した津波により、東日本地域の太平洋沿岸部に位置する市街地は、壊滅的な被害を受けました。2万人近くの犠牲者のうち、ほとんどが津波によるものであります。

地震の揺れによる被害も多数見られま

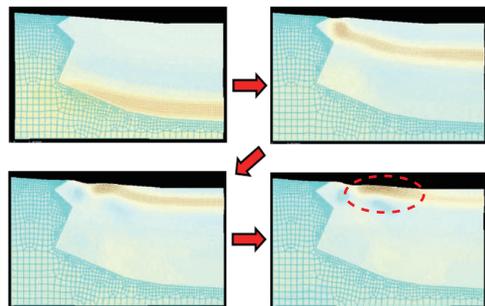
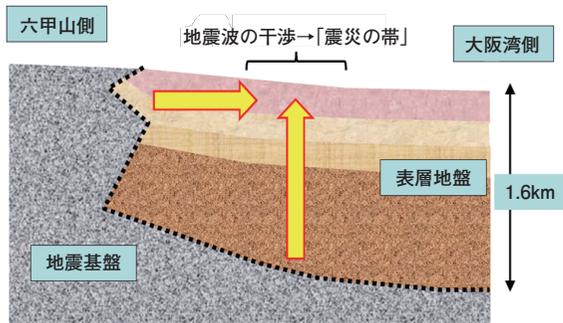


図3 「震災の帯」直下の地下構造と地震波の増幅的干渉

した。首都圏では、東京湾沿岸部を中心に大規模な地盤液状化が発生し、家屋傾斜などの被害が多数発生しました。一方、このときに別の問題も発生しました。大都市部で記録された**長周期（長時間）地震動**です。これは比較的ゆったりとした揺れが長時間続くものであり、超高層建物や免震建物にとって影響の大きい揺れ方であります。2011年東北地方太平洋沖地震時に記録が得られている建物の中

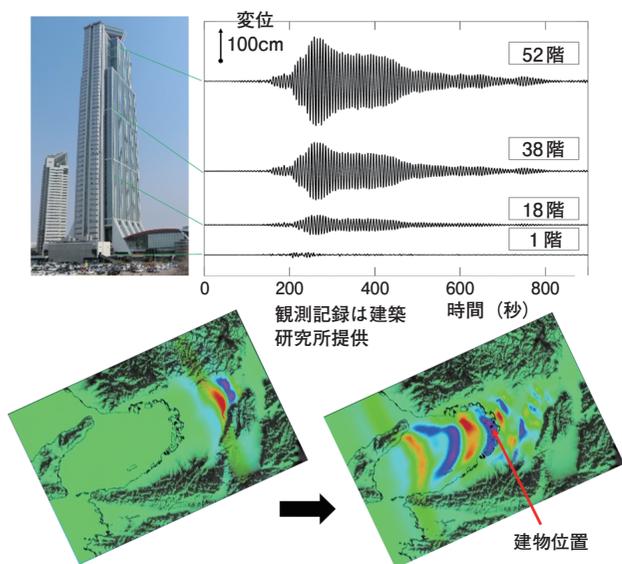


図4 2011年東北地方太平洋沖地震時の大阪に建つ超高層建物の揺れと大阪平野における波動伝播と地震動増幅の様子

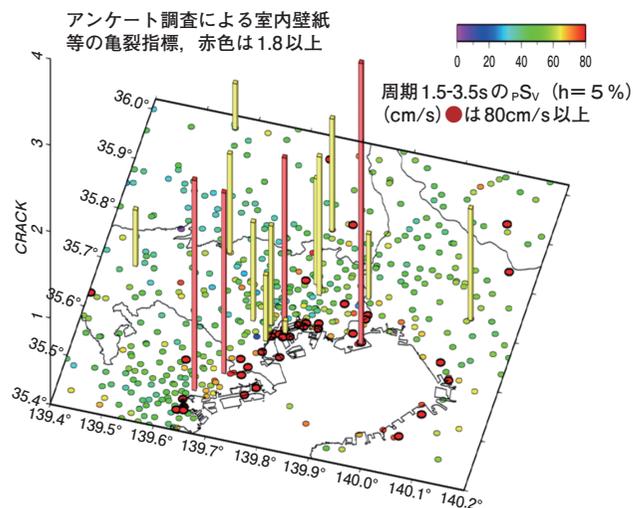


図5 2011年東北地方太平洋沖地震時の首都圏における長周期地震動の振幅レベルと超高層集合住宅低層部の壁紙被害

で最も大きく揺れたのは、実は震源から700km以上離れた大阪湾沿岸部に建つ50階建ての超高層建物だったのです(図4)。頂部の揺れは、両振幅で3m近くにも達し、国内の建物記録の中で最も大きい揺れ幅となっています。

この原因も、やはり先に述べた地下構造でありました。大阪平野は比較的軟らかい表層地盤が楕円状に囲まれた形状となっております。このため、遠方から伝わってきた長周期地震動が大阪平野内に伝播する際に、当該建物の建設地点で干渉し増幅したことが報告されています(図4)。これにより周期6秒前後の長周期地震動が増幅し、当該建物の固有周期と一致し、建物の大きな揺れに繋がっております。

2011年東北地方太平洋沖地震時には首都圏でも震度5弱～5強の揺れを観測しました(図5)。このときに首都圏で得られた強震記録を詳細に分析してみると、超高層建物等の揺れに影響する周期2～3秒の成分については、東京湾沿岸部の埋め立て地や河川下流部で大きくなっていました。また超高層集合住宅の居住者を対象に行ったアンケート調査では、東京湾沿岸部に建つ建物の低層部で壁紙等の亀裂が大きいことが明らかになりました。東京湾沿岸部では軟弱な地盤が厚く堆積しており、液状化被害が発生するとともに、このような長周期地震動も増幅したものと推定されます。

長周期地震動は、今後高い確率で発生が予測される南海トラフの地震でも重要な課題となっております。2016年には長周期構造物の耐震設計時に長周期地震動を考慮することが義務付けられました。

2016年熊本地震

九州・熊本地方で2016年4月14日にM6.5の地震が、4月16日にM7.3の地震が立て続けに発生しました。この2回の地震で、震源に近い益城町（熊本県）で震度7を2回記録しました。熊本地震はこれらを含む一連の地震活動を指しています。

幸いにも犠牲者の数は前出の2地震に比べると少なかったのですが、益城町、南阿蘇村等では多数の古い木造建物が崩壊しました（写真1）。日本建築学会では、益城町の甚大な被害地域を中心に、すべての建物の被害を1件ずつ調べる^{しっかい}悉皆調査を実施しました。この結果、1981年5月以前の耐震基準で建てられた建物の被害が最も大きく、無被害で済んだのはわずか5%です。それに対し、1981年以降の新耐震基準で建てられた建物の被害は大きく低下しており、2000年6月以降の新耐震基準で建てられた木造建物の半数以上は無被害です。比較的新しく耐震性能に余裕のある建物が大地震に対して有効であることがよく分かります。

地震動の観点で問題となったのが、2回続けて大きな揺れが発生したこと、断層が地表にまで現れ一部の建物を横切ったこと（写真2）、また断層に沿った方向で大きなずれを伴い神戸のときと同様に振幅の大きなパルス性地震動が発生したこと、などが挙げられます。特にパルス性地震動については、神戸のときはディレクティビティパルス、熊本のときはフリングパルスと呼ばれるパルス性地震動が発生し（図6）、いずれも周期1秒成分が卓越し、木造建物被害に大きな影響を与えました。また熊本では周期3秒成分が卓越する長周期パルスが発生し、超高層建物、免震建物の地震時応答に大きな影響を与える地震動として懸念されています。これらのパルス性地震動に対する検討は現在も続けられておりますが、全国レベルで耐震設計に活用されるにはもう少し時間がかかるかもしれません。



写真1 2016年熊本地震・益城町の建物被害



写真2 2016年熊本地震時に地表に現れた断層

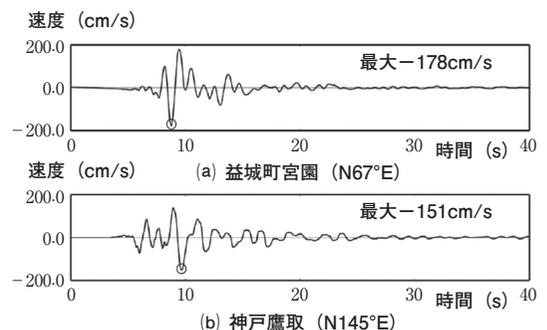


図6 熊本と神戸で得られた大振幅のパルス性地震動の速度波形（観測記録は熊本県、JR提供）

令和の時代への期待

平成時代には多くの被害地震が発生しました。一方、それに応じて対策もなされ、国内で建設される建物の耐震性も高まりつつあります。令和の時代には、大地震時に崩壊しないのは勿論のこと、地震後も継続使用可能なより高い耐震性能を有する建物が一般的なることを祈りつつ小稿を閉じたいと思います。