

## 東北地方太平洋沖地震の被害分析とこれからの構造設計

2011年7月19日

金箱温春

東北地方太平洋沖地震が発生してから4ヶ月が過ぎたが、いまだに多くの行方不明者の捜索が続き、避難所で生活している人々も多い。被災地支援はそれぞれの立場においてできることを継続して行っていくなくてはならない。それとは別の視点で、建築構造設計の専門家として今回の地震についての総括を行う必要があると考える。今回の地震被害は広域にわたることが特徴であり、いまだにその全貌が明らかになっていないが、現在までに分かっている情報をもとに、地震被害についての分析と今後の建築設計・構造設計に及ぼす影響を考えてみる。

### <主要構造体の被害>

RC造においてはせん断補強筋の少ない短柱のせん断破壊やピロティ階の層崩壊、鉄骨造においてはブレース座屈や接合部破断など、従来の地震と同様の被害が見受けられる。つまり、現在の耐震設計に関する知見を生かして設計を行えば、今回程度の地震においても主要構造の大きな被害は避けられると思われる。構造設計にあたっては、構造体の強度や靱性を確保することやバランスの良い構造要素の配置などが重要であることを改めて認識することが重要である。また、新耐震設計法施行以前につくられた建築物の被害が多いことが今回の地震でも明らかとなったわけで、これらの建築物の耐震診断・改修を促進する必要がある。

耐震設計はある地震外力を想定して行うものであるが、想定以上の外力が作用した場合に何が起こるかをイメージすることで最悪の事態を避けることを考えなければならない。靱性を確保した構造であれば、想定以上の外力に対して変形が大きくなることはあっても壊滅的な状況は避けられることが多い。強度型の場合には主体耐震要素の破壊後に地震エネルギーを吸収する別システムを備えるかもしくは強度そのものに余裕をもつことが必要である。

被災した建物は補修をして継続使用することがある。そのことを考えると、生じさせてよい被害と避けるべき被害があるのではないかと思う。RC造の壁のせん断クラックは見た目には大きな被害のように思えるが、柱・梁の曲げ降伏による損傷に比べると補修しやすいものである。鉄骨造のラーメン構造においては梁端降伏を目指した設計が行なわれているが、現実的には梁の端部が局部座屈を伴って降伏したような場合の補修は困難であり、これに比べるとブレースの被害であれば比較的簡易に補修可能である。

### <天井、外壁などの非構造部材の被害>

天井材の落下による被害は、近年の地震でも問題視されていたが、今回は人命を奪うという大きな被害となった。現状の生産システムの中で、天井材の安全性の確保は十分ではないといえる。天井材の耐震性についてのメカニズムは今後各方面で検討され、耐震性確保のための方策などの意見集約が図られていくであろうが、問題はそれをどのように実効性を持たせるかである。設計に関しては、特殊な天井については取付け方法などについては構造設計者が関わる必要がある。同時に、施工における品質確保の責任体制を確立する必要がある。

外装材については、メーカーによるディテールの開発や施工マニュアルの完備が進んでいると

思われる。しかし、地震被害は施工不備によると思われるものもみられ、施工において想定されたような取付けが行われていることが必要である。

### <液状化の被害>

液状化判定手法は建築学会などで確立されたものがあり、構造計算を行う建築物においては必ず検討が行われている。今回は地震の継続時間が長いといった特殊性はあるものの、対策を取っていた建築においては被害を免れているものが多い。今回の被害は戸建て住宅とインフラに集中している。

今回のような継続時間の長い地震に対しては、現状の液状化判定式ではマグニチュードを考慮する項目により継続時間の配慮が行われていると考えられるが、この判定方法が妥当であるかどうかの検証は学会などで行われる必要がある。

今後は戸建て住宅であっても液状化検討や対策は必ず行うべきである。但し、総工事費の少ない小規模住宅にとっては液状化対策費の比率が大きくなるのが現状であり、軽量住宅用の液状化対策工法の開発が期待される。また、敷地の液状化履歴を調べ、早期の段階、できれば土地取得時に情報を把握し、構造設計者のアドバイスも得て購入の判断材料とすることが望ましい姿である。

都市レベルの防災という観点では建物だけではなくインフラの液状化対策も必要である。

### <津波による被害>

今回の震災で多くの犠牲者を出した被害である。従来は、堤防の設置や避難による対応は考えられているが、建築構造では一部の“津波避難ビル”を除けばほとんど考えられることがなく、盲点でもあった。津波高さが中央防災会議などで想定していたものに比べてはるかに大きいということはあったが、耐震補強した建物や免震建物が津波で被害を受けている姿は無念である。今後は津波を考慮した設計が必要である。どこまでの津波を外力として考慮するかは経済的・社会状況などを考慮して決めることになるが、巨大津波に対して全てをハード面で対応することには限界があり、避難などソフト面を組み込んだ対策と一緒に考えることが必要である。また、土木構築物との連携も含め、地域全体で津波に立ち向かう方策も不可欠である。

### <長周期地震動による超高層建築の揺れ>

近年、問題視されていたことが東京地区のみならず関西地区の高層建築において体験された。これには二つの問題がある。一つは長時間継続する大きな揺れによる居住性の問題であり、建物の中にいる人がいわゆる船酔い状態となることや家具の移動・転倒などの問題である。もう一つは、想定していなかった長周期の地震動に対して超高層ビルの構造的な安全は確保されるのかということである。東海・東南海・南海地震が単独もしくは同時に発生した場合東京地方は今回よりも大きな長周期地震動に襲われると言われており、これへの備えも急務である。新宿センタービルでは制振装置を取り付ける改修を行っていたことにより、今回の地震においては水平変位が小さく揺れの収束が早かったことが報告されている。

## <地盤のローカルな性状を考慮に入れた耐震設計の可能性及び震度階の評価の見直しの必要性>

仙台市青葉山に位置する東北大学キャンパスで大きな被害が出た。この地域は震度6強であったが、地盤によって地震力が増幅する周期帯と建物の周期がほぼ同じであったことが原因とされている。一方で震度7を記録した栗原市では建物の被害は少ない。このことは二つの問題を示唆している。

建物が受ける地震力の影響は地盤との相互関係によって大きく異なる。発生確率が同じ地震動であっても地盤との関係において考慮すべき地震の大きさは倍半分になってしまう。このことを設計段階で考慮することができないだろうか。建物の周期と1階の層せん断力係数の関係を示す  $R_t$  という耐震設計で用いる係数があり、1種、2種、3種の地盤区分があり通常は短周期で係数が一定の領域があり長周期側で右下がりのなだらかな曲線となる。地盤特性を考慮して、この曲線がある部分で山や谷となることが評価できれば、きめ細かな対応ができる。今回の東北大学の地盤周期による卓越性は観測された地震波による分析で分かったことであるが、設計時に地盤調査資料などから推定できるようになればたいへん有用である。地震時の性能を語る設計、いわゆる「性能設計」に近づくことができる。

これと関連して、震度階の評価の問題がある。震度階は各地の地震動の大きさを示す指標として一般の人にもなじみが深いものであるが、問題はそれが建物への地震の影響度を示す指標となっていないことである。現行の震度階は地震計によって測定された加速度を短周期と長周期領域をある程度カットし、水平動、上下動を合成した最大加速度の値によって決められている。極めて短い周期帯の加速度が評価された場合には、震度階が大きくても建物に与えるダメージは小さい。そのことにより、震度階の大小と建物に実効的に入力される地震力の大小が逆転することも多い。震度階が建物への影響度を示す地震力の指標となっていないと、社会に対して構造性能を説明する際に歯切れが悪い。見直しを要望したい。

### (参考) 建築基準法で規定する地震力の大きさと震度階の関係

現在の建築基準法では1次設計を「稀な地震」あるいは「建物存在中に数回受けるであろう地震」と位置づけ、2次設計を「極めて稀な地震」あるいは「数百年に一回程度発生する可能性のある地震」と位置づけているが、地震力の大きさと震度階との関係は明確には示されていない。

2000年以前は、「建築物の構造関係技術基準解説書」に、一次設計は地動加速度100ガル程度あるいは震度5強程度、二次設計は300~400ガルもしくは震度6強~7と記載されていた。しかし、最近ではもっと大きな加速度が記録され、それでも建物の被害がないこともあり、加速度と耐震設計との関係の記述は前期の図書から削除された。

もともと「震度」という概念は、大まかな揺れの状況を示す指標として決められ、昔は気象庁の担当官が自分の感覚と周囲の状況で決めていたものである。震度の決め方は1949年、1996年、2009年と何回か改定されてきている。現行では加速度計を用いて定量的に決めることになり、上下動と水平動を合算し、揺れる周期によって加速度の大きさを低減して評価する手法であるが、建物に作用する水平力の大きさを示す指標とはなっていない。

JSCAが2006年に発表した性能メニューでは、一次設計は震度5弱、二次設計は震度6強と表現されている。分かりやすさを優先し、ある意味での厳密性を欠いた表現を採用したものである。