

7. 今後の方向性と課題

1948年に発生した福井地震を契機に液状化に関する研究は始まり、さらに1964年に発生した新潟地震やアラスカ地震によって問題の重要性が広く認識され、それ以降各方面で精力的に研究が行われてきた。その結果、液状化の発生のメカニズムや予測、対策方法がかなり確立されてきた。ところが、1995年に発生した兵庫県南部地震は、それまであまり検討がなされてこなかった強地震動(レベル2地震動)下での液状化の問題を提議した。このレベル2地震動下では液状化の定義自体も考え直し、それまで確立されてきた予測、対策方法も考え方を変える必要がでてきた。このような背景のもと、本研究委員会ではレベル2地震動下における液状化の挙動や考え方、設計方法、対策方法などに関して研究を行ってきた。そして、本報告書に示されているように、兵庫県南部地震以降に多く行われてきた研究成果がまとめられた。ただし、兵庫県南部地震以降に精力的に数多くの研究が行われてきたとは言え、まだ8年間しか経っていない、まだまだ研究が十分行われてきているとは言えない。今後の研究・技術開発の課題と考えられる事を挙げてみると以下のようなになる。

(1) 液状化の定義に関して

レベル2地震動のもとでは密な地盤でも液状化の対象になるため、本研究委員会ではその挙動について検討するとともに、液状化の定義自体を検討し用語の整理を行った。ただし、細粒分を多く含む砂質土や礫質土、各種の鉱さい、火山性堆積土、黄土など、液状化が問題となる土の種類は多種多様であり、これらの土を統一して液状化の定義を行えるように検討を続ける必要がある。

(2) 液状化による地盤および構造物の挙動に関して

これまで、液状化の発生が予測されると、構造物がどんな被害を受けるかはあまり検討せず、液状化が発生しないような対策を施すことが検討されてきた。ところが、レベル2地震動のもとでは液状化の発生は仕方ないものの、構造物の沈下量や浮上り量などの変形量を許容値以内に抑える、といった性能保証型の設計をとらざるを得ない。このため、本研究委員会でも、液状化によるタンクの沈下量などの変形量に着目した検討を行ってきた。このようなアプローチは始まったばかりであり、まだまだこれから研究が必要である。そのために、まず、液状化に伴う各種構造物の挙動に関して、模型実験や被災事例から詳細に観察し、変形のメカニズムやパターン化等を検討する必要がある。特に、埋設管や杭基礎などは複雑な挙動をしていると考えられ、詳細に挙動を観察し、設計や対策の考え方の基本とする必要がある。

(3) 液状化の発生の判定方法に関して

液状化の発生の判定方法はこの30年間余りの間にかかなり精力的に研究が行われ、各種の判定方法が実務にも広く適用できるようになってきている。ただし、国内だけを見ても、各機関で出されている判定方法が少しずつ異なっており、海外の方法ではさらに異なっている。また、レベル2地震動に対して見直しが行われた方法もあれば、まだ見直しが行われていないものもある。これらを比較検討し、実務者にとってレベル2地震動にも適用できる統一的な判定方法が確立されることが望まれる。

(4) 液状化による構造物の変形の予測に関して

本研究委員会のワーキンググループ4では、現在までに開発されているいくつかの詳細方法で、液状化によるタンクの沈下量を予測した。その結果、予測された沈下量はかなりばらついた。このように、現在開発されている最先端の解析方法をもって、液状化による構造物の変形を確信持って予測できるまでに至っていない。レベル2地震動に対しては上述した性能設計で対処する必要がある、そのためには液状化による地盤や構造物の変形を精度良く予測できることが必須である。従って、液状化による地盤および構造物の変形を予測できる手法を早急に確立させる必要がある。この手法としては、地震応答解析による詳細な方法は勿論のこと、簡易的に予測できる方法の開発も大切である。

(5) 液状化した土の特性に関して

液状化による地盤および構造物の変形を予測するためには、液状化した土の特性を詳細に研究して、それを解析方法等に適切に考慮する必要がある。ところが、これまでの研究は、主に液状化が発生するまでの過程が着目され、その試験方法やモデル化の方法が研究されてきた。このため、今後液状化した土の特性に関し種々の面から研究を行う必要がある。例えば、最近、液状化した土をあくまでも固体として扱う考え方、粘性流体として扱う考え方、粒状体として扱う考え方などが提案されてはきているが、それらの妥当性や適用性などの検討を行う必要がある。また、液状化した土の特性を研究するための新たな室内試験、現場実験方法の開発も必要である。

(6) 液状化に関する設計方法に関して

レベル2地震動に対して性能設計方法を確立していく際、液状化による地盤および構造物の変形の予測方法が確立されたとしても、さらに、その変形をどこまで設計で許すかといった許容値の設定が必要になる。現在、いくつかの構造物でこの許容値に関して検討が始まっているが、早急に許容値を設定する必要がある。この許容値は構造物ごとに、また、重要度によって異なるため、研究者や実務家だけでなく構造物の管理者も含めて総合的に検討する必要がある。

(7) 液状化に対する対策工法に関して

液状化に対する対策工法に関しては、これまで30年間余りの間にかなり技術開発が行われ、多くの構造物の建設にあたって適用されてきた。ところが、これまではレベル1地震動を主に対象にしてその効果を確認しているだけであり、レベル2地震動に対しては効果がまだはっきりしない状況にある。例えば、グラベルドレーン工法はレベル2地震動に対してどのような効果があり、それをどう設計に採り入れられるのか不明である。そこで、これまでに開発されてきた対策工法に対してレベル2地震動への適用性を検討する必要がある。この場合、勿論性能設計を念頭において検討する必要がある。

また、これまでにレベル1地震動を想定して造られてきた既存の構造物に対して、レベル2地震動ではどのような挙動を示すのか、見直して公開していくことも、社会に対する責任として必要であろう。

(8) 液状化に対するゾーニングに関して

我が国ではこれまで多くの自治体等で液状化に対するゾーニングを行い、それをもとに防災計画が立てられてきている。これらはレベル1地震動程度を想定したものが多く、そこで、レベル2地震動を想定して再度ゾーニングをし直し、防災計画を見直す必要がある。そのために、レベル2地震動に対するゾーニング手法を検討する必要があることは勿論である。特に性能設計とバランスをとると、例えば、液状化指数 P_L といったパラメータだけで危険度を評価して良いのかといったことから検討する必要がある。

(9) 都市内における総合的な被害の予測に関して

都市内には種々の構造部が複雑に入り込んで建設されてきている。そのため、一つの構造物が液状化によって沈下や浮き上がりを生じた場合、それだけの被害で止まらず、他の構造物に被害を及ぼすことがある。また、液状化によってガス類の漏洩などが生じた場合それによる2次災害が発生する。このように都市内では被害は複合化して発生する危険性を含んでいる。このような都市内の総合的な被害のシミュレーションをするなどして、防災対策を施す必要がある。

以上、レベル2地震動を対象にして液状化に関して今後の研究・技術開発の課題を挙げてみた。東京などの大都市において地震被害が懸念される中、また、東海地震に引き続き、東南海・南海地震などの地震の来襲が予想されている中、このような課題に関して、研究・技術開発が積極的に進められることが望まれる。