

■ 地盤の液状化が考えさせたもの

正会員 Ph.D. 神戸大学助教授 工学部建設学科 田中 泰雄 Yasuo TANAKA

地震前は、砂の液状化の研究に関して、一研究者として、液状化に至る過程での砂の降伏曲面の変化について、ある程度役立つ資料を提供してきたつもりであった。しかし、今回の地震で生じた現象を見ると、現実と研究対象としてきたものとの格差にショックを感じざるを得ない。

たとえば試験方法について、液状化試験の材料には、新潟地震のイメージが強烈であるためか、均等粒度の砂をできるだけ緩い状態で作成することが、液状化研究の共通の土俵に上がる条件といった傾向があったと思う。日頃より神戸ポートアイランド等の埋立造成に接したためか、岩塊・砂礫・砂が混合され、ボーリング調査やコーン貫入が困難な地盤があのように大規模な液状化を生じたことは、私個人の研究思想を崩壊させるには十分であった。ただし、300ガル程度以上の地震ではまさ土が液状化する可能性がすでに約20年前の神戸大学谷本研究室で報告されている。

今回の地震では、その他にも新潟地震を超える様々な現象が起こっている。埋立地外周の重力式ケーソン護岸の崩壊、背後埋立土の液状化、護岸下部置換砂の流動変形、護岸近傍橋梁基礎の側方変形など、従来の設計思想を再検討させるに十分な問題提起と思われる。また、埋立層下面の沖積粘土層下部の沖積砂層のような深部砂層において間隙水圧の上昇が観測されたが、このような現象は同様な地盤条件を持つ臨海埋立造成地の地震時挙動および構造物基礎の考え方に一石を投じるものであろう。

要素試験としての液状化研究は新潟地震を契機に始まったが、今後は液状化検討対象地盤の地震防災システムとしての研究、すなわち地震入力・要素試験・模型実験・解析手法・設計方法・復旧システム等を抱合する研究方針が必要であろう。これには、異分野研究者の相互協力・情報交換の組織化が必要である。

■ 液状化に関する設計法について ——液状化現場を見て——

正会員 (株)日建設計 中瀬土質研究所 角南 進 Susumu SUNAMI

関西でのいくつかの地盤設計において、液状化の判断に悩みながら関わってきた私も技術者にとって、今回の地震はその問題の一部に、正解はこうですよと示したように思います。

基準の違い：主な土木の基準においては平均粒径 D50 が 0.02 mm 以上の粒径の砂については液状化検討は不要とされていました。まさ土はこの限界付近であり、また、細粒分が多いこともあって、基準の違いや設計者の判断により液状化するかどうかの判定が微妙でした。ポートアイランド等の埋立地では重要な建物に対して、粘土層の圧密沈下対策や、埋土層の支持力不足を補うために

何らかの地盤改良がなされていました。液状化を考慮したかどうかは別として、その効果は認められ、結果として周辺地盤が液状化しても埋立地での建物に大きな被害がなかったのは幸いでした。

側方移動：ケーソンをはじめとする抗土圧構造物が、置換砂や、背後の埋立土の液状化により、大きく変化し、特に、背後の地盤が液状化している場合には遠くまで変位して、構造物に被害を与えました。埋立土の支持力増強を目的として基礎地盤の締固めをした港湾施設が、設計の考慮外の護岸の変形に引きずられ、エプロンや、荷役施設の被害により、機能を失ったケースが多かったよ

うに思います。今後、地盤が変位した場合の構造物に作用する力を把握し、設計に考慮する必要があると思います。

液状化による噴出物：今回、ポートアイランドでは、GL-30 m 以深の洪積砂層で地中の間隙水圧が測定され、上載荷重に対して70%程度の水圧比であったといわれています。地表面では地震後に数時間も水が噴き出したそうで、粘土や直径10 cm 以上の小石が噴出したのは、液状化後の浸透水流の影響が大きかったのでしょう。流出した粘土分が浚渫土、沖積粘性土、埋立土の細粒分かは判断がむずかしいところですが、埋立履歴と試験により、明らかにされるでしょう。このような細かいことも、液状化のメカニズムを考えるときには有用だと思います。

N 値の増加：地震後地盤が沈下することにより、N 値が大きくなることは予想されますが、N 値に表れるほど地盤が締固まるということに疑問

を持つのは当然でしょう。N 値は変わらない、減少したという人もいます。しかし、新潟地震では、あるレポートによれば、N 値25以下の地盤ではN 値が大きくなり、特にN 値10以下の地盤ではゆるい埋立土は5~10程度増加したといっています。今回の地震では一般に5程度の増加が報告されています。まさに振動締め固めが行われたということのように思われます。

入力大きさ：液状化の発生に関わる入力地震動の大きさは今後大きな問題になります。兵庫県南部地震以前でも、建築建物の2次設計では大きな地震入力で設計されていますが、地盤の液状化は大丈夫かという問いは常にありました。今後土木構造物でも、設計入力は以前より格段に大きくなると予想されますが、上部工の入力と整合性のとれた、合理的な液状化の設計法を確立する必要があると思われます。

液状化対策と地震動

正会員 佐藤工業(株) 中央技術研究所 吉田 望 Nozomu YOSHIDA

ポートアイランドと六甲アイランドの2つの人工島では何らかの形で地盤改良が行われたところは、対策の程度に応じて沈下量が違う等、改良の効果が実証されてきた。このことから、液状化対策に弾みがつくことになろう。地盤だけをみれば地盤改良はよいことである。しかし、改良地盤の地震動については明確になっているとはいえ、したがって設計上の問題点も残っているように感じられる。

筆者の知っているところでも、兵庫県南部地震の際、沿岸地域で隣接して建てられていた2つの建物で、液状化対策が行われていた地盤に建てられた建物が非常に大きな被害を受け、一方液状化対策が行われていなかった地盤に建てられた建物はほとんど無被害という事例がある。構造形式が違うこと、きちんとした調査を行っていないこと

から、これが対策効果の差であるというつもりは毛頭ないが、考えさせられる現象ではある。つまり、液状化した地盤では、地盤の非線形挙動のため構造物への入力が小さくなり、一方、液状化対策が行われている地盤では、地震動が増幅されて構造物に入射したため入力が大きかった可能性があるからである。

反対に、地盤改良をするといっても、建築物を対象にするのであれば対策範囲は地盤全体から比べれば小さいので、全体挙動に与える影響はそれほど大きくないのではないかという意見も考えられる。また、地盤種別分類に際して、改良地盤はどのような判定をするのか、改良地盤の地震時挙動は一次元の地震応答解析で表現できるのかなど、設計上の問題となることも未解決のように考えられ、今後の研究が期待される。