

■ 兵庫県南部地震による液状化について

正会員 工博 岐阜大学教授 工学部土木工学科 岡 二三生 Fusao OKA

今回液状化が見られた、埋立地盤の液状化強度に関心が払われている。まさ土による大規模埋立地での液状化について代表的なのは、兵庫県、特に神戸市などの人工島における液状化であろう。主にまさ土で埋め立てられた人工島であるポートアイランドは津波かと思わされるような土と水の混合体でその約50%が覆われたが、特に注目されたのは、レキから細粒分まで含む粒度配合の良いまさ土が液状化した点である。まさ土について、当初これまで液状化に強いと考えられていたのになぜ液状化が起こったのか？との疑問ができたが、まず細粒分が粘土のような活性度の高い成分を含んでいたのかを考える必要がある。単に、細粒分の多少が液状化強度を左右しているわけではない。次に、同じ相対密度を持つ場合でも、まさ土は豊浦砂などの自然砂に比べて、せん断時の体積圧縮量、つまりダイランシーが大きい材料であることが知られていた(鳥居, 龍岡, 第17回土質工学研究発表会講演集, pp.1669-1671) このことは、地震力によっては液状化する可能性を持っていた材料と考えられる。

次にレキや粘土の噴出に関して考える。まず液状化の原因を整理してみよう。液状化は地震時の繰り返しせん断以外にも波力、静的なせん断および浸透力によっても発生する。ここで、浸透流によっても液状化が発生する点を考えると、圧力差によって起こる浸透流によって液状化は発生する。材料としては比較的液状化に強いレキや粘土も地中の水-土混合体の流れによって地上に噴出することになる。噴砂として観察される液状化現象が少ないとされた六甲アイランドの護岸後背面でレキが観察されたことは興味深い。護岸の移動によって短時間に混合体の圧力が減少したのではないだろうか。

今回、液状化の形態についてよく語られるのは、富士山のような噴砂丘ではなくて、地割れから直

接噴砂が見られたことである。これは、地表近くは比較的強く締固められていても、地表の破壊面から噴砂が噴出したのであろう。液状化した土と水の混合体の噴出については、数十分続いたとする見聞が報告されているが、これは地震後津波を思わせるほどの体積の混合体が人工島を覆っていたことに対応している。

このような現象は、液状化の解析において流れの解析の重要性を示していると思われる。今回内陸部でも多くの液状化が見られたが、主に古い池の埋立地や貯水池近くであった。特に内陸部で甲陽断層や芦屋断層にそって液状化が見られた。もっとも高い標高で確認された液状化現象は、芦屋断層近くの芦屋市奥山芦屋カントリー倶楽部(標高約500m)であった(松岡篤, 形の科学会会報, Vol.10, 1995年)。

地盤改良の効果については、ポートアイランドでの地盤改良地区でその効果が見られたが、サンドドレンについては設置時の締固め効果のみでなく、排水効果も考えられる。この点明らかにする必要があろう。

港湾構造物の被害において、当初調査にあたった当時、港湾構造物は大きな加速度によって被害を受けたという意見も多かった。しかしながら、レキの噴出に見られるように、かなりの圧力を持った水-土混合体の存在を考えると、護岸の大きな移動によって圧力の低下があったと考えることには合理性があろう(井合, 土木学会誌, 80-7, pp.46-49)。

これまでケーソンなどの基礎構造物と液状化地盤との相互作用は、経験に頼ることが多く、規模が大きくなると何が起こるのかについては未知の部分が多かった。この点、現在の解析法を駆使した説明が待たれる最重要事項であろう。特に、後で述べる部分的な液状化や半液状化との関係としても重要である。しかしながら、解析は三次元か

つ逐次非線形となることから解明のための時間と費用を惜しんではならないと考える。また、現在ではケーソンに比べて杭基礎が多い点にも注意したい。

液状化深度については観測が容易ではなく推定は困難であるが、土質データから解析を通しての推定はある程度可能となっている。また、ポートアイランドのように鉛直アレー観測がなされた場合は波形から大まかに読みとることも可能である。この点、間隙水圧の観測についても鉛直アレー観測が今後もなされることが強く望まれる。

免震効果については、液状化被害のあった芦屋浜で、液状化によって家は傾いたが、意外と家内の物品が倒れなかったという証言もあることか

ら、液状化によってせん断波が伝播しなかったことがうかがえる。このような現象はうまく使えば、いわゆる免震効果として対策に積極的に取り入れることも可能ではないだろうか？

最後に液状化の用語について考えてみよう。ある地盤が液状化したと表現すると、有効応力がゼロになって完全に液状化になる、完全液状化のイメージが強い。しかしながら、地盤は液状化傾向にあっても、部分的な液状化や不完全な液状化で終わる場合も多い。このような場合、軟化とか半液状化などの用語が用いられるべきであろう。これは、これまでの強度問題としての液状化の捉え方から強度変形問題として液状化の捉え方への、問題の広がりに対応しているように思われる。

■ 側方流動に関する研究促進の必要性

正会員 工博 早稲田大学教授 理工学部土木工学科 濱田 政則 Masanori HAMADA

兵庫県南部地震は広範な地域において液状化した地盤が水平方向に数 m も移動する現象、いわゆる側方流動現象を引き起こし、建物・橋梁等の基礎およびライフライン管路にきわめて甚大な被害を発生させた。液状化による地盤の側方流動に関しては、1983年日本海中部地震を契機に定量的な研究が始まり、その後日米両国の研究者によって共同研究が推進されてきた。側方流動に関する研究の最終目標は、側方流動量の予測手法および側方流動の影響を考慮した耐震設計法の確立と効果的な対策工法の開発にあったが、実務への適用に足る十分な研究成果が挙がっていない段階で今回の地震が発生し、再び側方流動による災害

が生じた。本分野の研究に参画してきた研究者の一人として誠に残念であり、責任を痛感している。

今回の災害の経験から、側方流動を各種構造物の耐震設計に取り入れることが必須条件になりつつあり、本分野の研究を一層促進させなければならない。そのためにはまず兵庫県南部地震による側方流動とこれによる被害の実態を正確に調査・記録することが必要である。地震後関係各機関による個別の被害調査がなされ、それなりに被害原因の分析も行われているが、側方流動のような共通のテーマについては横断的かつ総合的な調査・分析が必要である。この意味で土木学会等中立的機関の果たす役割は大きいと考えられる。

■ 液状化に伴う地盤の流動に関して

正会員 工博 東京電機大学教授 理工学部建設工学科 安田 進 Susumu YASUDA

今回の地震による液状化に起因した被害のうち、構造物に大きな被害を与えたものとして、岸壁や護岸のはらみだしに伴う背後地盤の水平流動

による被害がある。この流動は多くの埋立地や人工島で発生した。この付近には工場施設、タンク、道路、鉄道、建物、ライフライン等があり、地盤