

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

の流動に伴って、杭基礎の破損や、クレーンの脚の曲がり、配管の破損等の種々の被害が発生した。

このような、液状化に伴う地盤の流動（永久変位や側方流動ともいう）は1964年新潟地震や1983年日本海中部地震などで発生してきており、そのメカニズムや予測方法、対策方法の研究が行われてきているところであった。ただし、地盤が流動するタイプとして、①緩やかな斜面が流動するものと、②今回のように護岸や岸壁の移動に伴って背後地盤が流動するものと2種類あり、これまでは前者の方の研究が主に行われてきていた。これは、後者の方が境界の条件が複雑であることなどに起因している。ただし、東京湾岸など、全国各地の海岸や川岸付近ではこのような被害が発生しそうな所が多くあり、後者に対するメカニズム、予測方法、対策方法の研究の必要性が叫ばれていたところであった。

さて、今回の地震では、岸壁や護岸が海に向かって2~3m動き、それに伴って背後の地盤が100~200mの範囲で海に向かって流動したようである。この影響範囲および変位分布に関しては、東京理科大学の石原研而教授が地割れの幅を調査され、定量的に明らかにされている。ただし、調査された地区は一部に限られている。今となっては地割れの調査をするには手遅れであるが、目撃者からの聞き込み調査や航空写真からの判読などにより、影響範囲を推定できる可能性は残っている。現行の耐震設計基準類では、液状化に伴う地盤の

流動の影響までは検討するようになっていないが、今回の地震を契機に考慮するようになっていくと考えられ、その手法を開発する重要なデータとなるはずなので、この種のデータを早めに調べておく必要があると考えられる。

また、地盤の流動が構造物に与えた影響についてのデータも、流動を考慮した耐震設計方法の開発に不可欠なデータである。したがって、地盤の流動が発生した範囲内の杭基礎、ケーソン基礎、直接基礎、埋設管の被害状況について、被災原因調査や復旧の段階でできるだけデータがとられておく必要がある。関係機関でどのように対応されているか筆者にはよくわからないが、一部の機関しかこのような調査が行われていないように見受けられる。たとえば、地盤の流動の影響を受けた範囲には工場や倉庫の施設が多く、その建物の杭基礎が折れ曲がっているとの話を聞き、少し見せていただいたこともあるが、それもなかなか許可がおりず、また、見せていただいても写真撮影が禁止されたところもあった。被害状況から流動の影響、たとえば流動圧などが逆算でき、設計方法の開発に大いに役立つはずであるが、データがとられないまま、復旧がどんどん進められているのははなはだ残念である。せめて公共機関のデータをいつか公表していただくとか、復旧工事を担当された方からの情報を集約するなりして、貴重なデータを残すようにしてもらいたいものである。

## 地震後も長く持続する液状化現象

正会員 名古屋大学教授 工学部土木工学科 浅岡 顕 Akira ASAOKA

今回の地震では液状化は、空が明るくなってから、つまり地震後になって多く目撃されている。地震の強烈な主要部は10秒程度に過ぎなかった。人工島端部や護岸の大被害のうちには地震が過ぎ去ってから始まったものさえあったのではないか。どうして地盤破壊は地震荷重の過ぎ去ったあとでも進行するのか。聞かれていつも往生する。

土とコンクリートはどこが違うのか。

地震中に非排水で液状化するゆるい砂はしばらくおき、せん断時に膨張する程度なら縮った砂も多くある。そのような砂地盤が護岸の下部や背後のように多次元局部載荷条件にあったとしよう。そこへ地震のような衝撃荷重が、しかも偏って作用すれば、急激なせん断変形は非排水で起こるか