

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

ら、局所的な負圧の発生も含めて過剰水圧は地盤内できわめて不均一に分布する。荷重が去った直後では水圧の値は変化しえても、水圧分布の不均一性は残り、水頭勾配はあとから水の大移動を起こさせるに足る高いポテンシャルを備えたままにある。これに加えて、多次元局部载荷での土骨格の弾塑性変形では、たとえそのあと除荷されても弾性体のように全域が無負荷状態に戻るのではなく、局所的に高い残留せん断応力を保持することも大事である。そこでの水頭は周囲に較べて低いのも見やすいから、そんな所へあとになって水が供給されると、その土は限界状態の上に達して、軟化が進行することは容易に想像がつく。砂の場

合、吸水軟化は短時間でしかもわずかの水量でせん断応力をゼロにまでもっていく（液状化）。このためにその領域での大幅な荷重不安定（荷重減少）は必至で、これに伴う荷重再配分が破壊を別の場所に移して次々と地盤破壊は進行的になる。この間に水頭分布も大きく変化していく。軟化して剛性が負になっている土塊流動の水-土連成は、あらためて、水頭分布をより急勾配にさえしかねない（固さ負の土の圧密!）。ともかく何やかやで、地盤の下にある石は地表にまでも運ばれてきた。だんだんと試論からも遠ざかってきたがキーワードの羅列だけとお心得ください。

■ 液状化との共存

正会員 工博 東京大学教授 工学部土木工学科 東畑 郁生 Ikuo TOWHATA

砂地盤の液状化が被害を招くパターンは、①支持力の低下、②埋設物の浮き上がり、③土圧の増加、④地盤流動、⑤地盤沈下、⑥震動の長周期化である。このたびの地震でもこれらの現象が起こったようである。被害を金額に直すと莫大なものになり、大は港湾施設や橋梁の基礎から小は水道の家庭用引き込み管（供給管）まで、液状化防止対策の実行が今後強く主張されるだろう。しかし対策をすべて実行するには多くの費用がかかり、この地域では仮に500年に一度しか液状化が起こらないとすれば、そのような稀な事象を防ぐために多くの費用を投ずることには、是非をめぐってもっと議論があってもよいはずである。

一方数多くの犠牲者のうちで、液状化が原因で命を落とした人があったのだろうか。私はなかったと思っている。あったとしてもごく少数だったであろう。過去の地震を振り返っても、チリで鉱山の廃棄物（鉱さい）堆積場が液状化で崩壊、泥流となって人を飲み込んでしまった事件はあるが、犠牲者をだした液状化例は少ないように思う。アースダムがあわや崩壊しかけたサンフェルナンド地震の例が付け加わる程度であろう。

地震対策は人命を守ることを第一とすべし、との立場に立つなら、地盤の液状化対策よりブロック塀の倒壊を防ぐ方が重要な地震対策であるとも言えるだろう。人命の次に守らなければならないのは、地域社会の背骨をなす施設や復旧復興の基幹施設である。これには交通やライフライン網の中でも幹線となる部分、病院、基幹産業、対策本部となるはずの役所などがある。さらに、危険物を大量に貯蔵している施設にも特別な対策をするべきである。そしてこれらの範疇に入らない施設にどれくらいの液状化対策を施すべきなのかは、対策によって得られる安全性と施工にかかる費用とのバランスで決まる。しかしこのようなバランス比較の方法はいまだ確立されていないのか。

あえて対策を施さなかった施設が液状化で被災した場合、責任をどこが負うのか、はっきりした常識がない。被災した施設を修復するのは、相手が地盤であるだけに掘削を伴う大がかりな工事を必要とする。万一の場合責任を問われ、多くの出費も強いられる、そのような犠牲を払うぐらいなら高価な液状化対策を施してしまう方が無難であ