

## 臨海部コンビナートの液状化に対する危険性と対策

早稲田大学工学部社会環境工学科  
教授 濱田 政則

### 東日本大震災による液状化被害

東日本大震災では、東京湾岸の臨海埋立地の多くの地域で液状化による噴砂や地割れ、家屋・建物の傾斜と沈下および下水道マンホールの浮上などの被害が発生した。特に、千葉県浦安市とその周辺地域では 3,000 棟以上の家屋が沈下や傾斜を生じ、現在も復旧作業が続いている。さらに、京浜地区および京葉地区のコンビナートの事業所敷地内で液状化が発生したことが報告されているが、具体的な液状化地点や地盤条件等は不明である。

このため、筆者の調査グループでは、東日本大震災の前後で撮影された航空写真と衛星写真、およびヘリコプターから撮影された斜め航空写真を用いた空中判読により、東京湾岸の臨海部埋立地区での液状化の実体調査を行っている。その 1 例を写真 1 (a)、(b) に示す。千葉市上空から火力発電所の敷地を撮影したもので、写真 (a) が震災前、写真 (b) が震災後である。噴砂が地表に堆積したと判断される箇所を示している。ただし空中写真により判読のため、液状化発生の有無の判定に関して確度の低いものも含まれている場合もある。

### 写真 1. 地震前後の航空写真による液状化痕跡(噴砂)の判読

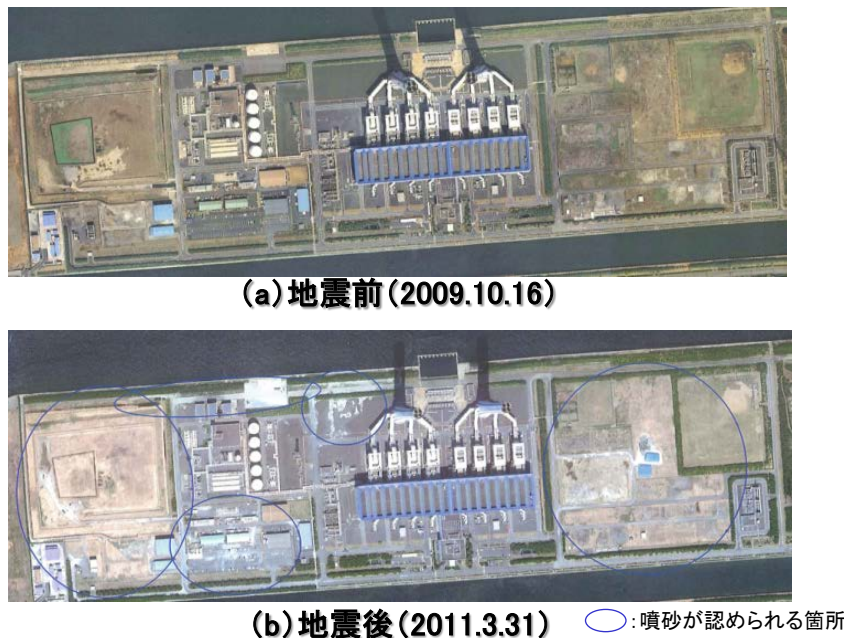
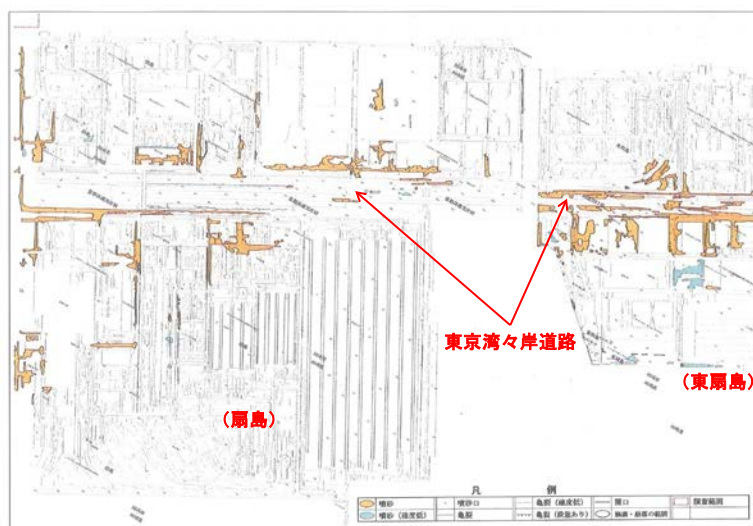


図 1 は同じく航空写真判読による川崎市臨海部のコンビナート地区の液状化判読結果である。高速道路沿いを中心に噴砂と噴砂による堆積の跡が読み取れる。しかしながら、タンクヤードなどには噴砂の痕跡が見られないが、これは液状化が発生しなかったという結論には直接的には結びつかない。液状化層の上部に厚い非液状化層がある場合には、地中で液状化が生じていても地表に噴砂・噴水が発生しない場合もある。噴砂の有無だけで液状化が発生したかどうかを判断

することには注意が必要である。

図1. 川崎市扇島地区における液状化の判読結果



東京湾臨海部で液状化現象が生じた原因は、液状化対策が施工されていない軟弱地盤であったこと、東日本大震災による地震動の継続時間が長かったことなどが考えられる。液状化は緩い砂質土層で発生するが、東京湾の多くの埋立地は海底土をポンプで浚渫することにより造成されており、地盤改良などが施工されていない地盤は一般的に極めて緩く、液状化が発生し易いと考えられる。

液状化現象が、工学的な観点よりはじめて認識されたのは1964年（昭和39年）の新潟地震である。多くの建物や橋脚などが沈下・傾斜した。また下水道マンホールや貯水槽などが浮上した。新潟地震を契機に液状化対策が施工されるようになった。それ以前の地震でも液状化が発生し、様々な被害が発生していたが、このような現象に技術者や研究者が注目することはなかった。

わが国の大都市圏の湾岸部、東京湾、伊勢湾、大阪湾など大都市圏の臨海部では、広大な埋立地が造成されてきた。戦後から高度成長期にかけて、これらの埋立地に重工業や石油化学のコンビナートおよび火力発電所、製鉄所が建設されてきている。これらの臨海部の埋立地の多くは新潟地震発生以前に造成されており、地盤改良および護岸の液状化対策が施工されていない場合も多い。東日本大震災による東京湾埋立地での地震動加速度は  $100\sim 150\text{cm/s}^2$  である。東京湾北部の地震が発生した場合の加速度は  $400\sim 600\text{cm/s}^2$  に達すると考えられており、東日本大震災の場合に比較して液状化の度合いも一段と激しいものになると考えられる。東京湾岸等に集中しているわが国の基幹産業を護るために液状化対策を急がなければならない。

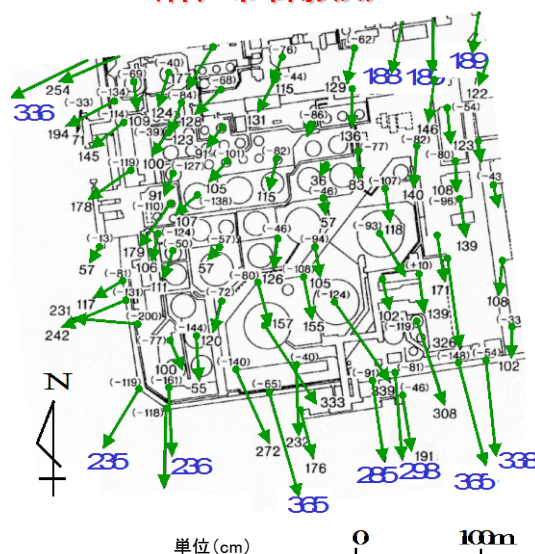
## 液状化地盤の流動

液状化にはその名が示す通り、地盤が液体のような振舞いをする現象である。液状化が発生すると、i) 地盤が構造物に支える力（地盤の支持力という）が喪失し、建物や構造物が沈下や傾斜を起す。ii) 地中の構造物が液状化した土の浮力によって浮上する。iii) 道路や鉄道の盛土および河川堤防など土で造られている構造物が構造物材料である土そのものの液状化によってすべりを起したり大きく沈下する。iv) 土圧の増大により岸壁が傾斜したり崩壊したりする。などの被害が発生することは1964年の新潟地震を契機として知られていた。しかし、液状化の問題に関して、見落されていた問題があった。それは、液状化した地盤が数mのオーダーで水平変位を起こす、いわゆる側方流動である。この側方流動の現象は新潟地震から約20年後の1983年日本海中部地震ではじめて発見され、側方流動発生メカニズム、側方流動が構造物に及ぼす外力などに関する研究が行われるようになった。

1995年兵庫県南部地震では、阪神地区の埋立地において大規模な液状化地盤の側方流動が生じた。図2は、神戸市の御影浜に建設されていたタンクヤードでの、地盤の水平変位を示している。護岸が3~4m海方向に水平変位するとともに、埋立地全体が海方向に移動している。護岸線より約400m離れた地点でも2m近くの水平変位が生じており、埋立地全体が海方向に移動したことを示している。この地盤変位が原因となって、配管系が破損し大量のLPGガスが漏出して、付近の住民が一昼夜避難することになったが、幸いなことに爆発・炎上には至らなかった。

側方流動には2つのタイプがある。最初のタイプは傾斜地が液状化を生じ、地盤が斜面の下方に流動するものであり、2番目のタイプは埋立地などにおいて護岸が動き出し、これに伴って背後の埋立地が海に向かって流動するものである。兵庫県南部地震の阪神地区の埋立地で発生した側方流動はこのタイプである。東京湾の埋立地でもこのタイプの側方流動の発生が危惧される。側方流動が発生すると、構造物の基礎、特に杭基礎が破壊され、構造物が倒壊する。また、ライフライン埋設管路が側方流動によって生じた地盤のひずみによって破壊される。

**図2. 1995年兵庫県南部地震による液状化地盤の側方流動  
(神戸市 御影浜)**



## 側方流動への対策

護岸背後に建設されている各種重要構造物を地盤の流動から護るための対策が必要である。図3に示す東京湾臨海部の埋立地に実在する護岸と地盤を対象として、各種対策工法の有効性が検討されている。図(a)は既設護岸の背後に新たな鋼矢板を下部の非液状化層まで打設して地中壁を建設し、これによってタンクなどが建設されている陸上側の地盤の流動を防止する方法である。図(b)は、既設護岸背後の地盤にセメントなどを地盤改良材として注入して地盤を固化して液状化に対する抵抗力を高める工法である。図(c)は既設護岸の背後に千鳥状に一定間隔で鋼管杭を2列に抑止杭として打設する方法である。

**図3. 側方流動を防止するための護岸の補強方法**

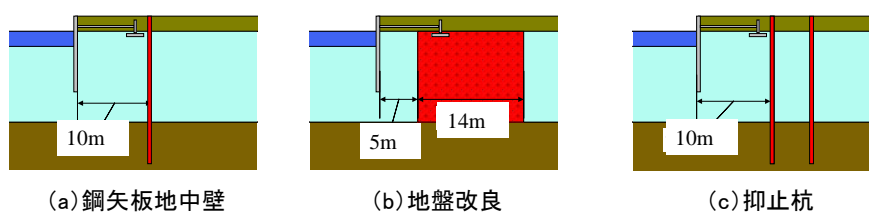
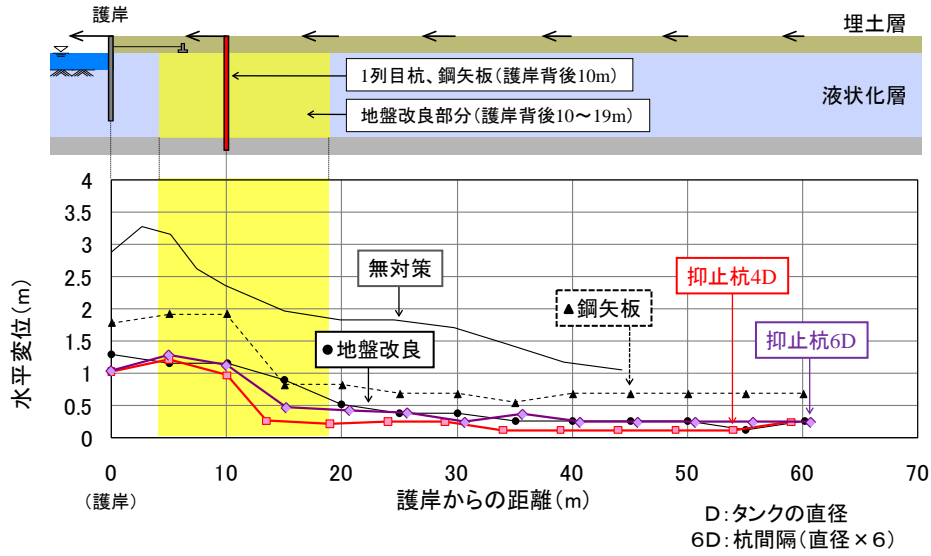


図4に示すように、地盤改良および抑止杭による方法では地盤水平変位が大幅に低減している。また、これらの工法では併せて既設の護岸そのものの変位も抑制されていることが分かる。これは、抑止工法によって既設護岸方向への液状化土の移動が抑制され、既設護岸に作用する土圧が減少したためと考えられる。鋼矢板地中壁による場合は、壁面で液状化土の水平移動を完全に遮断することにより鋼矢板に作用する外力が増大し、その結果として鋼矢板の変形が増大する。これに対し、抑止杭の場合は、液状化土がある程度杭間を通り抜けることにより、外力の低減が図られ、抑止杭自体の変形が抑制されたと考えられる。工費および工事の容易さの観点から抑止杭工法が護岸の流動対策に最も有利であると考えられる。

図4. 各種対策法による流動の抑止効果



いずれの方法を採るにしても高額な対策費用が必要となる。この費用をコンビナート事業者のみにその負担を押しつけていたのでは、対策は一向に進まない。公的資金による補助など側方流動対策のための社会的枠組の整備が求められる。また、護岸コンビナートの耐震性の向上は一事業者だけで取り組んでも効果が挙がるものではない。埋立地全体、ひいては東京湾全体としての取り組みが必要である。そのため「東京湾の耐震性、耐津波性の向上に関する協議会」の設立を呼びかけている。東京湾に接する1都2県が協議会を組織し、これに湾岸のコンビナート事業者が参加する。国の関係機関も財政的支援を含めてこれを応援するという体制を整えることが東京湾のコンビナート対策を推進する第1歩である。