

1999年トルコ・コジャエリ地震で生じたイズミット湾岸域の地盤沈下

佐藤工業(株) 正 規矩 大義*
 東京理科大学 正 石原 研而 学 清水 良純
 東京電機大学 正 安田 進 学 入澤 恒裕
 イスタンブール工科大学 Ayfer Erken

1. はじめに

1999年8月に発生したトルコ・コジャエリ地震では、震源域に近いIzmit湾岸域で、断層の変位にともなって地盤全体が広域にわたって沈下・水没したり、海岸線の地盤が海底断層に向かって流出するといった被害が数多く見られた。筆者らは、昨年9月(地盤工学会被害調査団)および今年1月から3月にかけて、現地にて被害調査を行なった。ここでは、イズミット湾南岸の二つの特徴的な地盤変状について報告する。

2. 被害の概要

今回の地震では、震源に近いIzmitからYalovaにかけてIzmit湾南岸部を中心に甚大な被害が生じた。いずれの地点でも水際線近くで生じた地盤変状によって沿岸部の地盤が水没・流出する被害が目立ったが、地域によって幾つかの特徴的な被害形態が見られた。副断層が陸域に表れたGölcük周辺から東側にかけては鉛直方向の断層変位が卓越し、地盤に大きな鉛直ずれが生じたり、広域にわたる地盤沈下が生じて集落が水没する被害が見られた。一方、それより西側の地域、すなわち主断層が海岸線近くの海底を通過したと考えられているDegirmendere, Halidere, Ulaş, Karamüselといった地域では、海岸線の地盤が瞬時に海中に引き込まれたような被害が多く見られた。そこで、地震直後に行なった被害調査をもとに対象地域を絞り、地盤変状の定量的評価や変状の原因推定のために、標準貫入試験、スウェーデンサウンディング試験、水深測量などを行なった。

3. Degirmendere, Halidereの地盤変状

Degirmendereの西側では、奥行100m、間口250~300mの範囲の地盤が地震直後に流失し、多くの犠牲者を出した。この地域は地震前には前面が自然の浜で、10mm程度の粒径の礫を多く含む海水浴場であった。流入河川や背後地盤の勾配、露頭の観察から扇状地性の堆積物であることが推察できた。背後地盤においても、幾条ものクラックが生じていたが、液状化の痕跡は見られなかった。

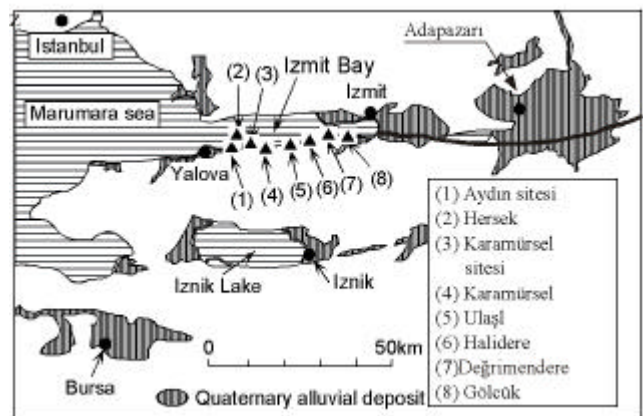


図1 被害地域の位置関係

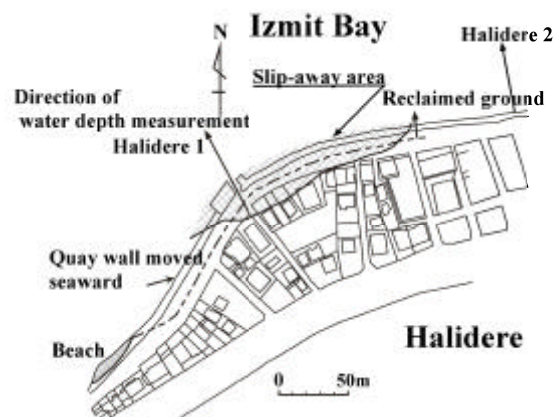


図2 Halidereの地盤変状の概略図

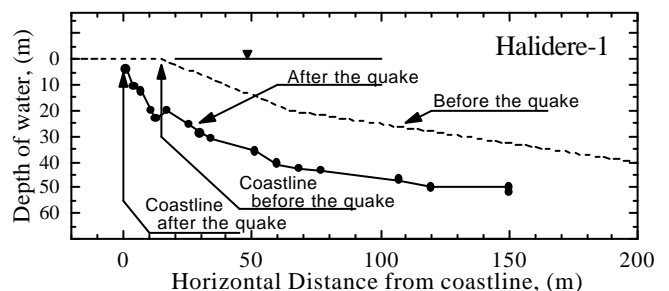


図3 Halidereにおける水深測量の結果

キーワード：地震、震害、地盤変状、軟弱地盤

*東京都中央区日本橋本町4-12-20 (TEL 03-5823-2354, FAX 03-5823-2358)

また、Degirmendere の西に位置する Halidere においても、図 2 に示すように海岸沿いの地盤が流出した。この流出域は埋立地盤で、背後地盤の勾配もさほど大きくはないことから、埋立地の流出が自然地盤の一部にも影響を及ぼしたものと考えられる。

これらの流出域において、地震前後の海底地盤の変化を調べるため、海上から小型ボートを用いた水深測量を行なった。位置標定には GPS ユニットを、水深計測には超音波式デプスソナーを用いて地震後の海底地形を調べた。地震前の海底地形は、漁船の操業に用いられている詳細な海図を入手し、その等水深線および水深データから推定した。

図 3 に示すように、流出域は円弧滑り的ともとれる変状を示しており、地盤が大きく滑り出し、海中に没した様子がうかがえる。海底面は旧海底面に比して 20m 以上も沈下しており、その影響も今回の測量範囲外にまで及んでいるよう推察できる。

4 . Gölcük 東方の地盤変状

一方 Gölcük より東側の地域では、地表に表れた副断層を境界にして地盤沈下が発生した。特に Insaniye 地区では、標高 5m 以下の低湿地で沈下が生じ、幾つかの集落が水没していた。ただし、背後の地盤は比較的平坦で、クラックも発生しておらず、傾斜地盤が滑り出したような様子は伺えなかった。また、Seymen 地区では、護岸が沈下してその背後地盤で側方流動が生じている箇所も見られた(図 4)。前述の地域と同様に水没域で水深測量を行なった結果を図 5 に示す。水没域では、ほぼ全体にわたって 5m ~ 8m 程度の一定の水深を示しており、変状後の海底面の形状からも、地盤が流出したような形跡は見られない。従って、Degirmendere や Halidere のように海底断層に向かって、地盤が滑ったというよりは、全域にわたってほぼ均一に沈下した結果、陸域が水没したように推察できた。そこで、水没域近傍の副断層より海側の地点で、スウェーデンサウンディング試験を行なった。図 6 に

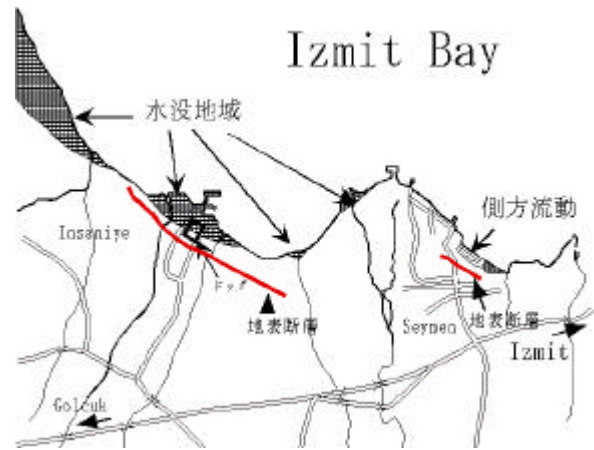


図 4 Gölcük 東側の地盤変状

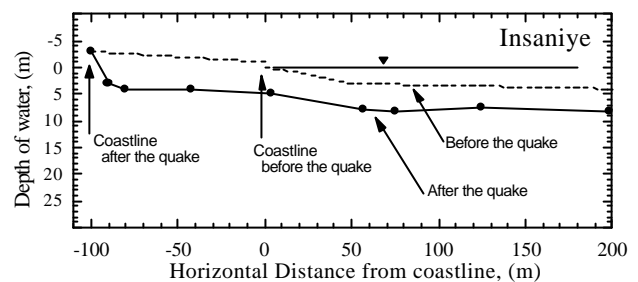


図 5 Insaniye での水深測量の結果

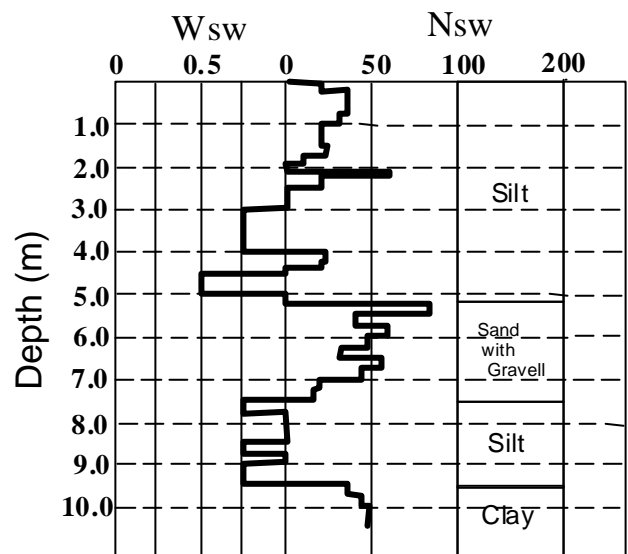


図 6 Insaniye でのサウンディング結果

結果を示すが、地表から 10m 程の深さまで軟弱なシルト層が堆積しており、一部に礫混じりの砂層が挟在している。水深測量から得られた地震後の沈下量の大きさを考えると、挟在砂層で液状化が発生し、体積圧縮が生じただけでは説明がつかない。むしろ、軟弱なシルト層全層にわたって間隙水圧が上昇し、圧縮沈下が生じたものと思われる。勿論、砂層でも液状化が生じ、そこが滑り面となって地盤変状が助長されたのは想像に難くない。今後も標準貫入試験の結果の評価や不攪乱試料の実験を通じて検討を続けてゆきたい。

参考文献

1) 規矩、石原 他 (2000): トルコ・コジャエリ地震で生じたイズミット湾岸域の海底地盤の変状、第 35 回地盤工学研究発表会 (投稿中)