

1. はじめに

これまで、盛土や建物、橋梁その他の構造物の地震被害発生箇所の地盤構造を調べて、構造物の地震時の変形状態と地盤構造が密接な関係を有することを明らかにしてきた^{1) - 3)}。今回は、地震被害例を見直してわかった地盤条件急変箇所等の盛土等の被害例と、盛土等の挙動と地盤構造の関係等について発表する。

2. 地盤条件急変箇所等の地震被害例

(1) 出戸・西目間盛土 (1964年新潟地震)¹⁾

……砂質盛土の底部が液状化したために流出したといわれる盛土は、腐植土からなる軟弱地盤と良好地盤に跨って作られている。腐植土層とその下の土層は盛土の流出方向に傾斜し、この盛土の線路方向の変形範囲は腐植土層の存在範囲と等しい。なお、ここの軟弱層の下の固い砂層上面の等高線を見ると、ここの盛土は後述の鯉川・鹿渡間の崩壊盛土の場合と同様に、軟弱層底面が盛土の縦横断方向に傾いた所で崩壊している。

(2) 関上上堤防 (1978年宮城県沖地震)¹⁾

……図1の液状化被害が生じた堤防直下の地盤では、堤防中心部を境にして堤外地側の軟弱層が薄くほぼ水平に堆積し、堤内地側の軟弱層は堤防外方に行く程厚く堆積する。即ちこの堤防は軟弱層の薄い所と厚い所の境界部にあり、この状態は(1)と類似である。特に多数の亀裂や沼のすべり破壊等が生じた堤内地側地盤では、緩い砂層の下にそれよりも小さくしかも極く小さいN値の軟弱シルト層がある。ここでは亀裂の発生状況から変形箇所地盤内の硬い地層上面が谷状に窪んでいることが予想される。図2の隣接の無被害堤防では天端を含む本体部直下と堤外地側のり面部分はほぼ水平な堆積土層の上にあるし、ここの地盤の最上層部はN値が深さと共にほぼ大きくなるシルトからなっている。

(3) 鯉川・鹿渡間盛土 (1983年日本海中部地震)¹⁾

……腐植土層を含む軟弱地盤と良好地盤に跨った盛土が崩壊した(図3, 4)。その崩壊は軟弱地盤底面(基盤面)が盛土の縦横断両方向に大きく傾いた所で、かつ腐植土層のある所だけでその傾斜方向に生じた。隣接の何ら変形を生じなかった盛土は極軟弱粘性土地盤の上にあるが、その粘性土層はほぼ一定厚さでかつ水平に堆積している(図5)。即ちここの盛土の変形、

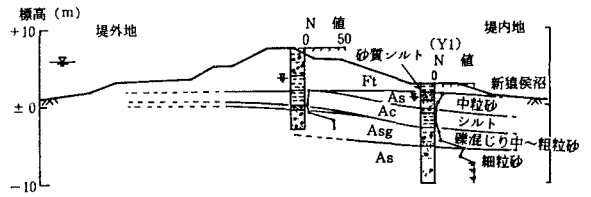


図1 関上上堤防 (被害有り)¹⁾

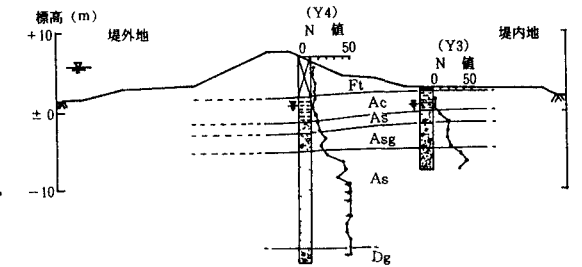


図2 関上上堤防 (無被害)¹⁾

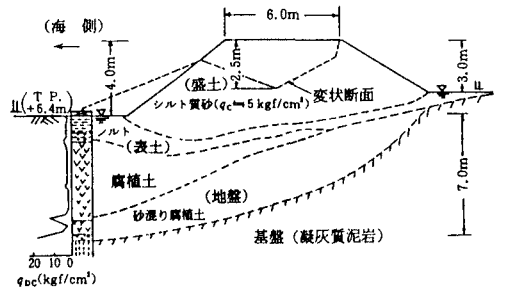


図3 鯉川・鹿渡間盛土 (被害有り)¹⁾

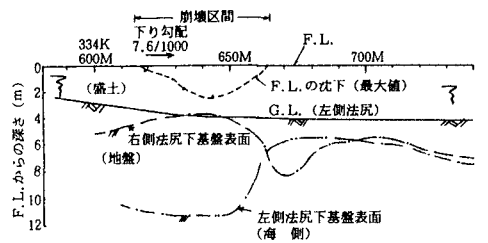


図4 鯉川・鹿渡間盛土の沈下と地盤状態の関係¹⁾

無変形状況と地盤構造の関係は(2)の場合と似ている。

(4) 約7mの地すべりが生じた白山変電所(1964年新潟地震)の埋立地盤は底面が傾斜し、極軟弱な粘性土層を含む⁴⁾。青山砂丘(同地震)の地すべりは枝谷の大きい谷(谷底平野)への出口付近で生じ、法尻～斜面中腹の地盤内に純腐植土層を含む。この崩壊箇所は枝谷の盛土(N値が深さ方向に一定)で、無被害箇所は砂丘(N値が深さに比例)のようだ⁴⁾。

(5) 仙台変電所(1978年宮城県沖地震)の被害は、沢部の盛土でしかも盛土と地山の境界付近で、盛土が比較的薄かつその底面が縦横断方向に傾く所で大きく生じた⁵⁾。寿山第四団地(同地震)の大規模すべり崩壊は、元の谷を埋めた造成盛土で生じた。なお、造成以前は谷の出口付近に谷からの湧水の溜池が存在していた⁶⁾。(6) 中島1号岸壁(日本海中部地震)の崩壊や大沈下、はらみ出し等は、岸壁法線直角方向に昔あった比較的小さな掘り込み水路を埋め立てて造られた所で生じた⁵⁾。

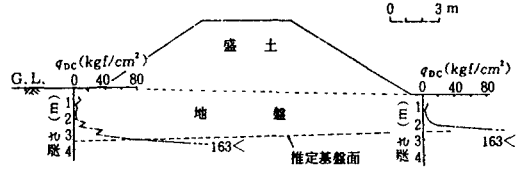


図5 鯉川・鹿渡間盛土(無被害)¹¹⁾

3. まとめと被害発生機構の考察

(1) 台形状盛土は軟弱地盤と良好地盤(軟弱地盤薄い場合を含む)に跨る場合、即ち地盤条件急変箇所地震被害が大きく生じる。しかも、地盤内の軟弱層底面(硬地盤上面或いは基盤面)が、谷状或いは盛土の縦・横断2方向に窪み、かつその上の軟弱地盤が中間に極軟弱粘性土層を含む場合(上下逆転型地盤構造)が多い。また、埋め立て造成地盤も同様に谷状地形等の埋立地で、かつ埋め立て地盤あるいは現地盤に極軟弱粘性土層を含む上下逆転型地盤構造の場合に被害が生じ易い。

(2) 液状化し易い砂地盤であるかどうかに関係なく、地震時には類似の地盤構造の所では類似の被害形態が生じており、地盤の動きも両者で似ているものと思われる⁷⁾。

(3) 成層構造に傾斜があって低強度土層を挟む地盤は、常時に地すべり等が生じる地盤と似ており、地震時に大きい変形が発生する所では、地震時にも地すべり的な現象が生じることもあるようだ^{3) 4)}。

(4) 模型振動実験結果⁸⁾をみると、埋没谷を埋めた軟弱地盤は加振方向に関係なく谷軸方向に大きく動き出すときがある。これにはポアソン比が大きく関与しているものと考えられる。実際の地震では色々な方向の振動が生じるし、しかも以上に述べたように大きな地震被害が生じた地盤には、ポアソン比の大きい極軟弱粘性土がある場合が多い。これらのことを考えると、以上に述べたような構造の実際の地盤では、地震のとき谷軸方向には特に大きい変位が生じ、また傾斜地盤では元々不同変位が生じてその傾斜方向に大きく動きやすい性質を持っており、谷構造があると更に大きく動いて被害が出やすくなるものと思われる。その時地表近くに硬く重い地層あるいは低塑性の地層があるときは変位が残留したり、亀裂等が発生したりする場合があるものと推定される。

(5) 文献9)の図4等を見ると、谷を埋めた軟弱地盤では地震時にその土は谷軸に向かって動く傾向、即ち谷中央に集まろうとする傾向を持っているようだ。谷を埋めた軟弱地盤は往々にして含水量が大で、非圧縮性でポアソン比も大きいので、その結果谷の出口方向等に特に大きく変位するものと推察される。

4. おわりに

地震被害が生じた建物や橋梁等の地盤にも、軟弱地盤底面が谷状等に窪み、かつ上下逆転型の構造がみられる^{2) 3)}。そのため、そのような建物や橋梁等の地震被害発生機構も盛土と同様と思われる。なお、以上の調査に当たって御世話になった方々と、参考や引用させて頂いた文献の著者に厚く御礼を申し上げます。

文献 (1)那須：鉄道総研報告, 3-8, 50/57, 1989 (2)那須他：鉄道総研報告, 4-4, 35/44, 1990 (3)那須：鉄道総研報告, 5-11, 27/36, 1991 (4)那須：土と基礎, 39-2, 11/16, 1991 (5)那須他：土木学会第18回関東支部技術研究, 166/167, 1991 (6)那須：鉄道総研報告, 5-4, 53/61, 1991 (7)那須：日本応用地質学会平成3年度研究, 89/92, 1991 (8)那須：第21回地震工学研究, 133/136, 1991 (9)中川：地質学論集, No.28, 233-239, 1986。