

1. はしがき

1978年宮城県沖地震により、仙台市緑ヶ丘地区をはじめ多くの造成地盤で変動が生じ、道路・擁壁・家屋埋設管などに著しい被害が生じた。これらの被害は主として急峻な地形に造成した急傾斜個所と旧谷地形を埋立てて造成した盛土個所に集中している。白石市近くの盛土の崩壊もこのような被災の一例であるが、造成後入居者が少なく家屋がほとんど無い状態にあったため、この事故が直接住民に与えた影響は少なかった。しかし、この種の盛土は大都市周辺の造成地には比較的多く見られるものであり、大地震を想定した場合都市防災上の大きな問題となり得るものと思われる。本報告はこの盛土崩壊個所について被災後行なった土質調査結果に基づいて崩壊の原因について考察を行なうものである。

2. 盛土材料と被災状況

この附近は白石川及びその支川によって開析された東西性の丘陵で標高80~100mの緩い地形を有している。この丘陵地は主として新オ三系中新統の浮石質凝灰岩よりなり、造成にあたっては主としてこの掘削土砂が盛土材料として用いられている。盛土材料は礫分18.9%、砂分42.7%、シルト分20.9%、粘土分17.5%の火山灰質の土 ($G_s = 2.56$, $w = 27.7\%$, $LL = 37.3$, $PL = 20.7$, $PI = 16.6$) である。見かけには粗い土に見えるが、比重が小さく粒子破砕しやすい、場所によっては粘土分40%以上で、いわゆる「うんち」状態にあるところもある。施工に際しては谷部を埋立ててブルドーザーで転圧を行ない、高さ約30mの盛土を行なった。施工時の締固めについては管理記録もなく定かではない。この盛土は昭和51年9月の豪雨に際して斜面崩壊を起こした。この際の調査結果では地下水位が非常に高く安全性が極めて低いこと、同時に地震時の安全性に疑問があることが指摘された。

宮城県沖地震に際してこの盛土が巾約130mにわたって崩壊し、その崩壊した土砂が下方約100mのところまで流下し、このため1名が死亡した。崩壊した個所は図-1に示すように次すの盛土の中央部分でその側方は切り盛りの境界にはば一致している。崩壊後の斜面からは湧水が認められ、また、崩壊した土砂はきわめて高含水比でゆるい状態にあった。地震後、二次災害防止のために雨水の浸入防止と崩壊斜面の締め固めが行なわれた。その後行なわれた土質調査によれば、この斜面での地下水位は比較的高く、図-1の破線で示すように下流に向かって流下しているようである。残存する地表での現場密度は 1.9 t/m^3 に近い値になっており、また、コアサンプラーによる盛土内の試料も $\rho_r = 1.9 \text{ t/m}^3$ 以上の値を示し、かなり締まった状態にある。しかし、地震前の調査では盛土内部で 1.73 および 1.82 t/m^3 の値が得られているので、地震前には比較的中い状態にあったことが想定される。盛土材は礫を多く含み、乱工な試料を得ることが困難なため、5mm以上の礫をのぞいた乱しな試料を用いて $\phi 75 \text{ mm}$ $H 165 \text{ mm}$ の液試体を $\rho_r = 1.8 \text{ t/m}^3$ ($w = 28.3\%$) の条件で突固めて作成し、三軸圧縮試験を圧密非排水条件で行なった。この結果を図-2に示すが、 $c' = 0$, $\phi' = 36^\circ$ ($c = 0.35 \text{ t/cm}^2$,

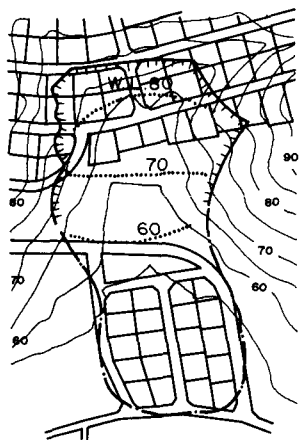


図-1 崩壊個所平面図

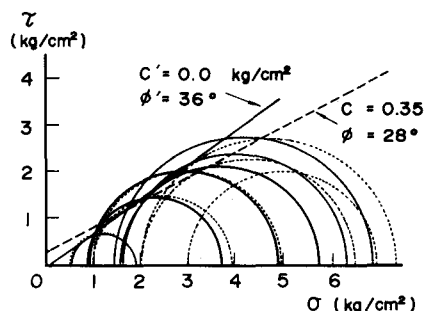


図-2 静的三軸試験結果

$\phi=28^\circ$)であって。

3. 盛土の安全性と動的解析結果

通常の分割法による安全率を崩壊断面に近い円形すべり面について求めた例を図-3に示す。水平地震力 K_h を変化させて安全率の変化を調べたところ、安全率が1をきるような K_h は浸潤線が仮定した場合0.11であることが知られた。この値は盛土高の大きい土構造物ではやや小さな値であり、設計震度あるいは地震時の安全率のとり方に問題があり得る。

湿潤密度を 1.7 および 1.8 t/m^3 に突固めた標準化試験について三軸室内で飽和させた後、 1 kg/cm^2 で圧密し、バックフロードシーを 1 kg/cm^2 加之 1 Hz の正弦波繰返し荷重を加えて液状化の実験を行った。この結果、砂に於けると同様に間ゲキ水圧が蓄積されると急激にひずみが増大し、やがて破壊する液状化現象が認められた。図-4は軸ひずみが15%になった時に破壊と考えると求めた液状化条件を示すものである。単位体積重量が増加すると3割以上の強度の増加はあるが、液状化が発生し得ることを示している。なお、 γ_t が 1.9 t/m^3 の場合は、間ゲキ水圧の増加が小さく、明瞭な液状化現象は見られなかった。

図-5は崩壊前の断面と模した有限要素モデルによる弾塑性応答解析結果の一例を示すものである。入力地震波はEl CentroのNS成分を用いて一方向入力の場合のみと考える。図中下段の数値は盛土の法肩における最大加速度応答値を示すが、入力の最大加速度 359 gal に対しほぼ2倍の最大加速度応答があることが知られる。仮りに白石での入力加速度が 150 gal とすれば法肩部分では少なくとも 300 gal の応答が出るものと考えられる。これは通常の設計震度より大きな値であるので、この盛土が崩壊しても不合理ではない。また、図中上段は同時刻において塑性状態に入った要素を黒く示してある。これらの塑性領域の分布と崩壊した部分とが比較的よく一致していることから、斜面の崩壊のパターンを想像することは可能である。

4. おすび

大規模な盛土が崩壊した場合その影響が大きいので、このような盛土については設計や施工の段階で防災上何らかのチェックが行われる必要があると考える。これまでの解析により、この盛土の崩壊についてある程度の原因究明が行われたが、今後液状化現象と斜面崩壊の関係について研究を行う必要がある。

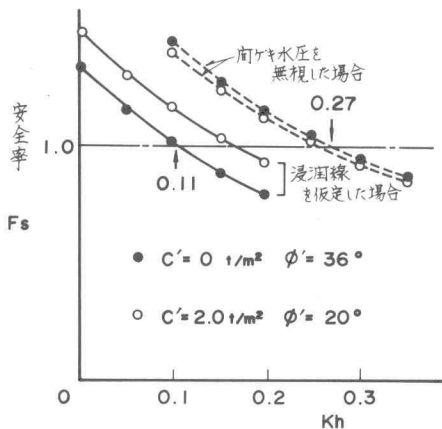


図-3 円形すべり面法による安全率

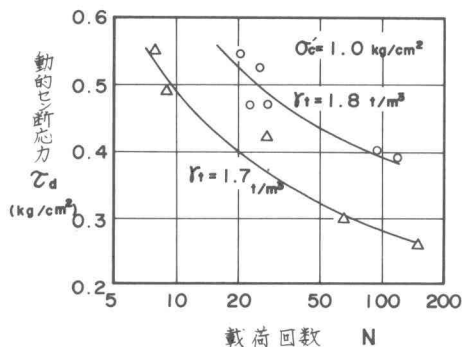


図-4 盛土材料の液状化条件

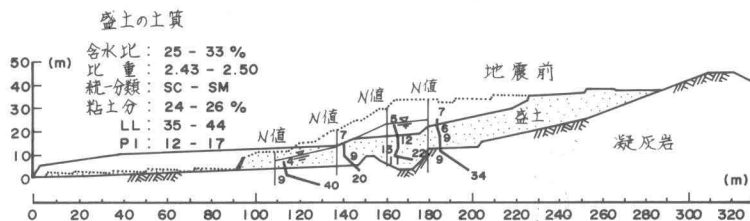
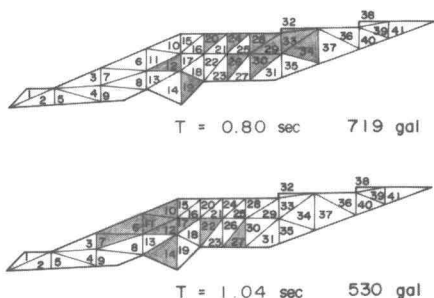


図-5 崩壊断面と弾塑性応答解析結果