

3 章 土質工学的諸問題とその対応 山地・丘陵部—土地造成

Chap. 3 Problems and Solutions of Geotechnical Engineering in Kansai Mountain or Hill Side Areas—Cut and/or Fill

たに 谷 もと 本 き 喜 いち 一* の 野 だ 田 つとむ 耕**

1. 総 論

台風と地震の多いわが国は急峻な地形と崩壊しやすい土質の分布により災害が多い。土地造成に伴う災害は斜面崩壊、擁壁倒壊、土砂流出である。「宅造法」制定の契機となったこれらの問題は今も造成工事の重要課題であり、そのほかに造成地盤の沈下も大きい課題である。造成の目的は生活基盤の整備であるから防災は最重点課題である。

山地・丘陵地での造成計画時の留意点は、地形、地質、土質、水文など自然要因を十分に調査して軟弱地盤、地すべり地などの問題箇所への計画はできるだけ避け、斜面は土地利用を考慮して配置し、形状は安定解析を行って決めること、また必要があれば対策法を検討し、施工中も変更ができる余裕のある設計をすることである。

しかし、事前に十分と思われる調査をしても完全な設計ができるとは限らないので、施工中は次の点に心がける。管理体制を整備し、盛土材の種類、締固め状況、切取り面の成層状態、走向と傾斜、土質・岩質、亀裂状況、地下水状況などを観察する。そして、設計上の土質・岩質との差が大きい場合は計画や工法の変更を行う。また、斜面崩壊の徴候がある場合には応急処置、変状観測を行い対策を検討する。

次に関西の土質の特性であるが、全域を地質的特徴によって区分することは難しいので、工学的見地から未固結～半固結堆積物、固結堆積物、火山性岩石、深成～変成岩に分けて考える。関西の山地・丘陵地の未固結～半固結堆積物としては大阪層群や段丘層、固結堆積物としては神戸層群、火山性岩石としては流紋岩や安山岩、深成～変成岩としては花崗岩などが挙げられる。その分布域や特性は専門書に譲り、ここではこれらが造成に関与する問題を例に上げながら整理することにした。

2. 盛土地盤の沈下

盛土材は切土発生材が多いが、材料としては粒度特性が問題である。粒径の大きなものが集合すると大きな空隙が残り、その上の盛土は地下水が上昇した時に沈下を起こす可能性が高い。まさ土は比較的締め固めやすい材料である

が、神戸層群は岩種が多く、岩種によって支持力が小さいものや透水性が悪いものがあり、盛土材としては問題が多い。神戸層群の盛土で見られる問題点は次のようなものである。岩種によって N 値が2～3の部分の局所的に発生する。これは泥岩の場合に顕著で、原因は施工後に急激に風化が進むからである。盛土の一部に粗粒のものが集まり、それが地表に繋がっている場合は降雨による地下水の変動が局部的に敏感で大きいことがあり、その部分の粒子の細粒化が激しく沈下を招く。盛土後、圧縮沈下や圧密沈下が起こることはある程度止むを得ないが、ある期間を経過すると停止するのが普通である。しかし、施工後10数年を経ても沈下が継続することがある。その原因は、①両側地山斜面から湧水が盛土内に流入し、盛土の土粒子を流失させて沈下を起こす場合、②盛土下部の原地盤が軟弱な堆積層または被圧地下水を持った粘性土層で盛土荷重によりすべりを生じる場合が考えられる。盛土の沈下方向は谷中央付近では鉛直下方、切盛り境界付近では地山傾斜に沿って斜め下方に向く。その結果、その付近の盛土は引張りを受け亀裂が発生する。降雨時に亀裂に雨水が浸入し、盛土の水平移動を促進する。そこへ構造物を設けると亀裂や不同沈下が生じやすい。施工後数年以上経過した神戸層群の盛土は地下水位が高いことが多く、盛土厚の1/2近くに達している例も報告されている。これは地山から盛土へ供給された地下水が地下排水施設で十分排水されないからである。このように水位が上昇して風化が促進され発生した沈下例は多い。例えば、図一1は神戸層群を盛土材として使用した造成例であるが、基盤地形を顕著に反映した形で沈下しているようすが見られる。施工後10年を経て実施したボーリングでは岩屑はすべて粘土・シルトに変化していた。

神戸層群を盛土材として使用する場合は、風化による細粒化が原因の沈下が最大の問題であり、これは第三紀または新第三紀層の特徴である。風化促進の最大要因は水で、凝灰岩や泥岩は水との接触により数日中に分解してしまう。この沈下の防止には十分な地下排水工を設置し、圧縮試験によって作成した「沈下を考慮した施工管理基準」を使って施工して成功した例がある。

3. 地下水の処理

盛土部には地下排水工が設置される。対象は湿地帯、湧

* (財)建設工学研究所 常務理事, 神戸大学名誉教授

** ㈱ソイルコンサルタンツ 神戸事務所

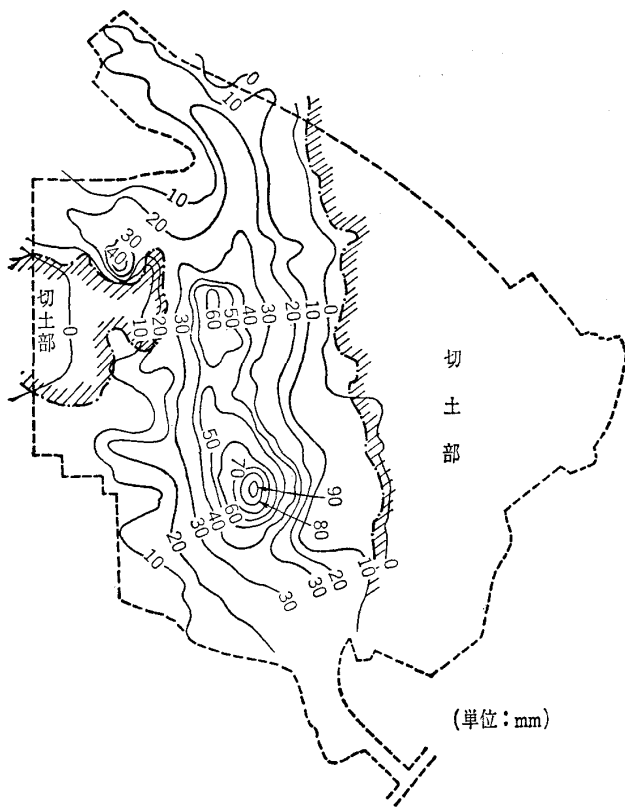


図-1 沈下量分布図

水地点、水田などの沖積地である。水田利用されている谷底は沖積層で覆われ、地下水が地表近くに存在することが多い。また、谷地、崩壊地、池、砂防ダムにも沖積層が堆積しており、地下水位が高く、設置対象となる。その他、破碎帯が通り湧水が見られる斜面や降雨時に湧水する場所も対象となる。

一般的に地下排水工は地下水の低下目標深さに応じて適当な能力を持った排水暗渠を設置する。排水工により地下水は低下し、アーチを連ねた水面形となる。地下水の流速は水頭勾配と盛土の透水係数で決まるので、重力排水を期待するには、ある程度透水性が良くなければ有効ではない。また、地下水を一様に低下させるには排水工の間隔を短くしなければならない。

盛土基盤が次のように特殊な場合は、より慎重に検討することが必要である。

① 断層破碎帯内の地下水

谷を破碎帯が横切っている場合は破碎帯内の水が谷底ばかりではなく、斜面の中腹からも湧出することがある。また、湧水は雨期にのみ見られることもある。この場合は谷底に碎石巻き有孔管を設置する以外に湧水地点を覆う排水用礫マットを布設し、地下排水工に接続しておく。図-2は斜面を礫層で覆って湧水を捕捉し、谷底の地下排水工に導いた例を示している。

② U字谷の地下水

U字谷は堆積層で覆われた水田に利用されていることが多い。一般的に堆積層は緩く、地下水位は概して高い。ま

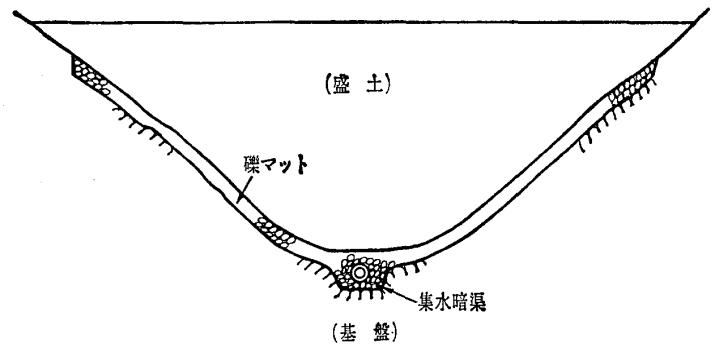


図-2 礫マットの設置状況

た、透水性が均一ではなく、水みちが発達している。この谷を破碎帯が横切っていることもある。そして、堆積層内の地下水源としては地表からの浸透水、両側の斜面からの流入水、あるいは破碎帯からの供給水が考えられる。これらの排除には谷の両側に碎石巻き有孔管を設置して斜面からの浸透水の排水を行い、谷を横断する礫層を適当な間隔で設置して堆積層の地下水を集め地下排水工に接続する。また、谷を横断する破碎帯が確認された場合、それによって堆積層にトレンチを掘り、礫マット層を敷いて排水施設に接続する。図-3はU字谷に複数の碎石巻き有孔管を設置し、その間を礫マット層で連結した例を示している。

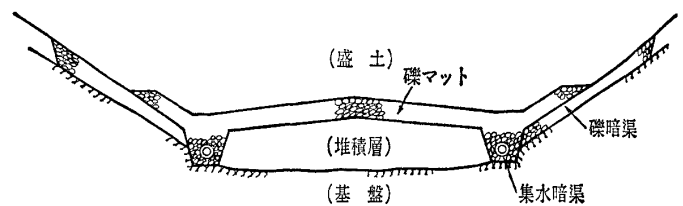


図-3 礫マット、礫暗渠の設置状況

③ 地山斜面からの湧水

地山斜面から湧水している場合がある。このような湧水部は礫マットで覆って排水工に接続しておく。

④ 盛土体内の地下水

盛土表面から浸透した雨水は深部への浸透を防止して排水する。そのため水平礫マット層をサンドイッチ状に盛土内に設置し、立排水工に接続する。盛土斜面の近傍でも礫マット層は有効である。盛土は局部的に難透水層となることがあり、降雨時に貯留水面が出現して発生する斜面崩壊の防止にも礫マット層は有効である。

4. 軟弱地盤の処理

軟弱地盤とは細粒土が緩く堆積している場所をいう。一般的に造成地域内にはため池等があり、その底には浮泥が沈殿している。それが盛土基盤になることも多い。また、湿地帯があつて水が地表面に数 cm～数 10 cm たまっていることもある。また、砂防ダムの背後に緩く土砂が堆積していることもある。

軟弱地盤上での高盛土の計画も見受けられる。その場合

は盛土に対する軟弱地盤の影響が問題であるが、沈下については層厚が大きい場合を除けば、圧密終了までの時間は造成工事の期間に比して短く、将来に悪影響を及ぼすことは少ない。しかし、これは軟弱地盤上面での排水能力が十分確保されていることが前提条件である。盛土材の透水性が良ければ軟弱地盤上に直接まき出すことも可能であるが、難透水性材料であれば透水層を別に設けることが必要である。

次に施工中に仮に設けられる斜面(例えば、沈砂池付近)についても軟弱地盤がある場合は安定性をチェックしておく。施工中安定が保てず事故になった例は多い。軟弱地盤上では均等に盛り立てるようにし、斜面を設ける必要がある場合は安定性を事前にチェックすることが望まれる。軟弱地盤の処理方法としては次のようなものが考えられる。

ため池の水の供給源は表流水と地下水である。地下水が供給源の場合は礫マット層によって湧水を集め、これを地下排水工に接続する。表流水が供給源である場合はへどろが沈殿していることも多く、直接盛土すると圧密沈下が大きいので、軟弱土の除去か固化処理が必要である。図-4は軟弱土層を固化剤添加の良質土で置き換え、その上に擁壁と盛土を築造した例である。本例は盛土斜面の先端に位

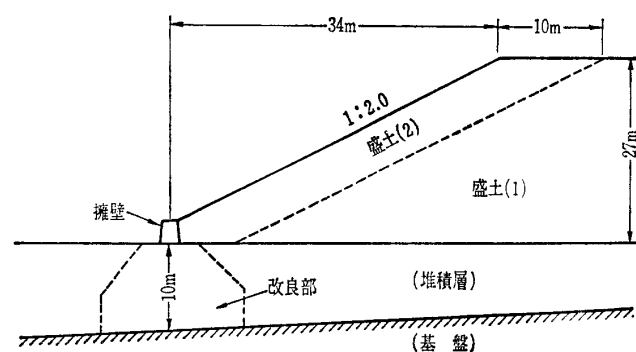


図-4 固化処理を利用した斜面の築造例

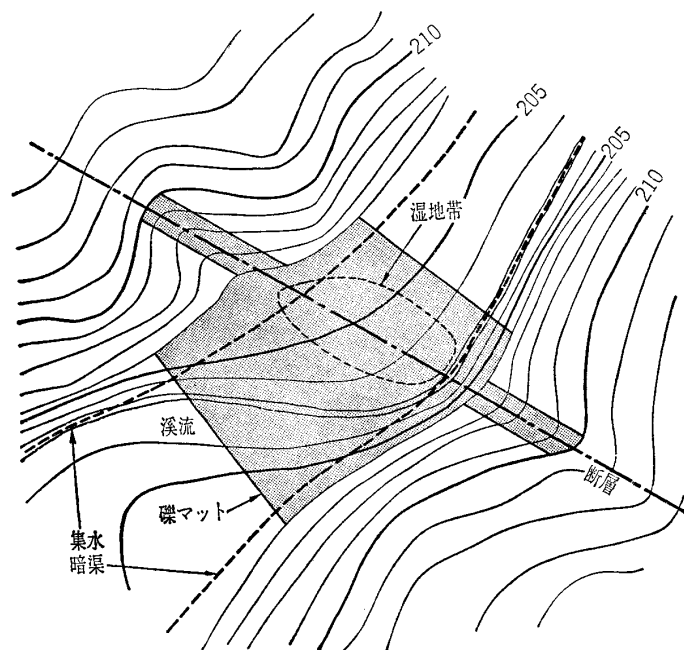


図-5 礫マットを使用した地下防災施設の例

置し、コンクリート擁壁を設置するので特に慎重に扱ったものである。工事完了後数年を経たが、問題はなく良好な結果を得ている。

湿地帯には地下水が浸出している場所と表流水の排水が悪い場所がある。湧水が原因のものは湧水場所を礫マット層で覆い、地下排水工で排除する。表流水の排水が悪いものは適当な間隔で排水工を設けて排水する。表面がへどろ状である場合は透水性の良い土で置き換える。この場合、線状の排水工はあまり効果がないので、図-5に示す層厚1m程度の礫マット層を設置した例があるが、結果は良好であった。砂防ダム内の堆積物も一般に緩いと考えられる。砂防ダムに水抜き孔が設けられていても堆積物が水没していることが多い。緩い堆積物は除去、改良処理、良質土による置換えのいずれかを行い、堤体には水抜き孔を増設するとともに堤体の前後に排水用栗石層を設置し、地下排水工に接続する。

5. 大規模切取り斜面の安定

斜面の安定問題はかなり解明されたが、多要素が複雑に関係するため、まだ十分とはいえない。切取り斜面の防災は計画から維持まで一貫して考えて達成できるものである。安定性は構成している岩種の性質と深い関係があるので、岩種ごとに検討してみたい。

1) 神戸層群

神戸層群は地山ではある程度固結しており、掘削時には抵抗力を示すが、掘削による露出部および掘削岩層は水や空気に触れて急速に風化分解が進む性質を持っている。特に泥岩、凝灰岩はシルト質土、粘土となり、強度が低下する傾向が強い。

層理面や節理面が「流れ盤」を成す場合に前端部を切り取ると弱層に沿ってすべる恐れがある。引張り亀裂が生じて、水が浸入するとすべりやすい。これを防止するには流れ盤の前端を切らないことであるが、切らざるを得ない場合は、対策工を設置した後に切土する。図-6は流れ盤の前端部を切った結果発生したすべりの一例である。斜面上部の平坦部には引張り亀裂が発生し、浸入した水の圧力を

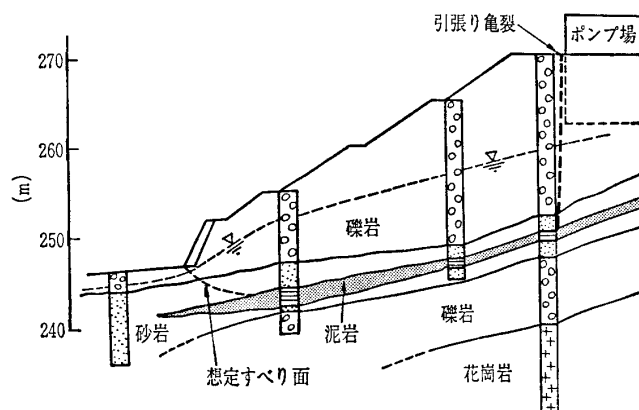
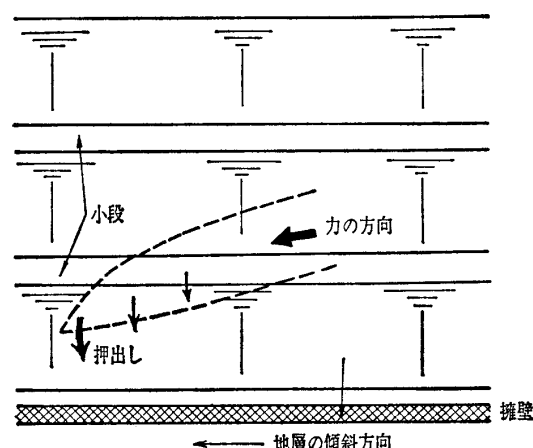


図-6 流れ盤切取り斜面のすべり発生例



図一7 流れ盤になっていない場合の斜面変状例

受けていた。滑動塊の形状や規模を把握し、押さえ盛土、形状変更、抑止杭、水抜き対策を行って事なきを得た。流れ盤の傾きは $3\sim5^\circ$ であった。

受け盤を成す場所でも上部の緩い堆積物の先端部を切り取るとすべることが多い。堆積層下面、すなわち神戸層群上面の滑動抵抗力を大きくする努力をするとともに、のり尻で堆積層厚さをゼロにしないことが必要である。層理面や一方の節理面が受け盤を成していても、もう一方の節理面が流れ盤になっていると、その面に沿ってすべりやすい。図一7は多少条件は異なるが流れ盤ではない方向の切土工事を行ったところ斜面中段部にくさび状のはらみ出しが生じた例である。地層傾斜が図の右から左へ下がっているのので右方向からの力を支えていた土塊の切り取りにより抵抗力を失った土塊が斜面方向に押し出されたものと考えられる。対策工としては抑止杭が採用された。

神戸層群の凝灰岩や泥岩は大気中に露出させると短期間で風化が進んで小崩壊を繰り返し、上部の礫岩や砂岩がオーバーハングした形になり、これらに引張り亀裂が発生して岩塊が落下する。鉛直に近い急崖を成す神戸層群に引張り亀裂が発生するとその内部に雨水が浸入し、水圧が作用して前面の岩塊が落ちやすい。

上記のように神戸層群地帯では問題が多い。これは宅地造成に限らず、この地域での道路、鉄道建設に関しても言えることで、近年多くの事故が発生している。

すべりや崩壊の防止策としては抑止杭、ロックボルトやロックアンカーの施工、亀裂や破碎帯に雨水や地下水が貯留されるときは水抜き孔を設置する。

2) 花崗岩

花崗岩は風化しやすい性質を持っている。強風化帯、風化帯、弱風化帯に分類されることが多く、数層の地下水面が存在することが多い。風化花崗岩の上の段丘層を切り取ると地下水が切り取り斜面に浸出してくる。また、豪雨があると風化帯内の地下水面が上昇して上部の段丘層に達し、横流れする。この水面が斜面にも現れ、パイピング現象を起こして崩壊する。

3) 各種の岩盤に共通した問題点

節理や断層・破碎帯の状態によって斜面の安定性や破壊の形態が異なる。破壊形態は切り取り後の露頭調査によって判断するのが良く、事前調査による把握には限界がある。

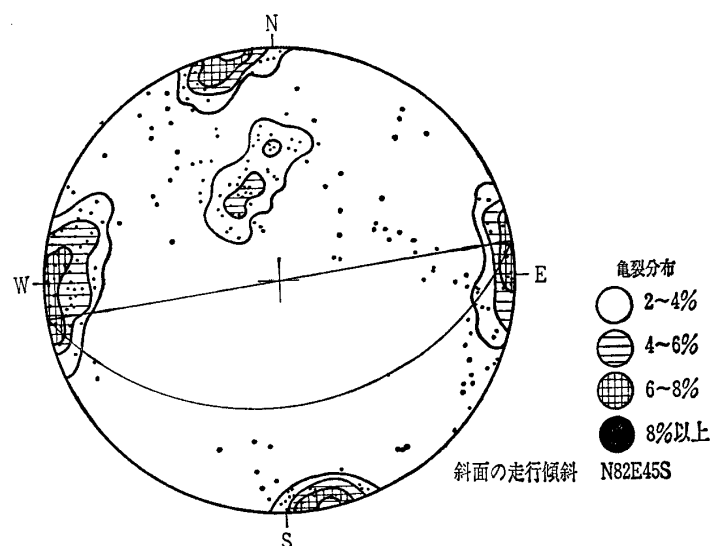
事前調査ではボーリング調査を実施し、コア観察により切土勾配を決める。破碎したコアしか採取できないほど風化している場合には曲面破壊が生じる。この場合、水抜きの設置や勾配を緩にするなどの対策を単独あるいは組み合わせて施工する。

事前調査時には斜面の位置が確定している場合と未確定の場合がある。前者の場合のはり肩、中腹、のり尻の3地点でボーリング調査と地下水位の経時変化の測定を実施する。リニアメント調査、弾性波探査により断層・破碎帯が存在すると推定される場合は水平または斜めボーリングにより位置や規模を明らかにする。調査結果により斜面の安定性検討を行うが、この時は節理や小破碎帯までは把握できないので切り取り後に節理の走向・傾斜を調べ、ステレオネットなどを用いて斜面破壊の可能性を検討する。可能性がある場合には対策工を施工する。

計画確定前に調査されて斜面ののり肩、中腹およびのり尻でのボーリングが実施されていない場合は近くのボーリング結果、リニアメント調査結果、弾性波探査結果を参考に安定性の検討を行うが、この場合でもボーリングを追加実施し、切り取り後は露頭調査を行うことが必要である。また、大気に触れると吸水膨張を起こす岩石やモンモリロナイトを含んだ粘土は切り取り後は速やかに大気を遮断する被覆工の施工が必要である。

切り取り後の露頭調査の項目は次のとおりである。

- ・節理の走向と傾斜、幅、粘土の有無
- ・断層・破碎帯の幅、走向と傾斜、内容物の性質
- ・湧水部の位置、範囲
- ・断層粘土の性質を調べるための試料の採取



図一8 露頭調査によるステレオネットの例

露頭調査の実施例を次に述べる。本例の工事は流紋岩分布域で行われた。岩質は非常に硬く、斜面も強固に見えたが、ステレオネットの例である図-8からも分かるように亀裂が縦横に走り、くさび破壊の可能性が予想された。そこで節理面のせん断強度試験(写真-1, 図-9参照)を実施し、くさび破壊に対する安定性の検討を行った。切取り斜面が数万 m^2 の当工事も適宜ロックアンカー等の対策を施した結果、問題は発生しなかった。

6. 盛土・切土斜面の保護

斜面保護工は切取りまたは盛土の斜面を保護する工法である。斜面保護工の目的は浸食や落石の防止と環境保全である。裸地は冬季に凍上しやすく、急勾配の裸地斜面では表土が凍上により緩み、融解に際して強度が低減する。その結果、表層が落下してのり尻や小段に堆積する。斜面保護工には植生工と構造物工がある。植生工は斜面に植物を繁茂させ、浸食の防止、地表面温度変化の緩和、凍上・融解による崩落を抑制する。土砂斜面は植生工により緑化することが原則であり、斜面排水工を併用する。構造物工は植生工が不適当な場所や植生工のみでは安定が確保できない場所に施工される。

植生工を行う場合、勾配は植生工に適したものでなければならない。斜面自体は安定であることが条件である。芝草の根の深さは10~20cmであるから斜面崩壊は防止できない。斜面は安定していると確認されたものに植生工を行うのが原則である。切土または盛土斜面に対する標準勾配が設定されているが、植樹の場合は倒木防止のためになるべく緩勾配が良い。また、自然斜面と人工斜面の境界は一体に見えるようラウンディングを行う。普通の砂質土や粘性土の場合は問題ないが、砂礫、岩砕、まさ土、粘土、土丹、固結性粘土については慎重に工法を選定する。砂礫、岩砕、まさ土など粒径の粗いものは乾燥しやすいので客土が必要である。種子吹付けの場合は2層吹付けとし、下層に厚めに客土を吹付け、その上に種肥土吹付けを行うのが良い。粘土、土丹、固結粘土など細粒で空隙の小さいものは通気性に乏しいので溝切り客土を行って種子吹付けを行

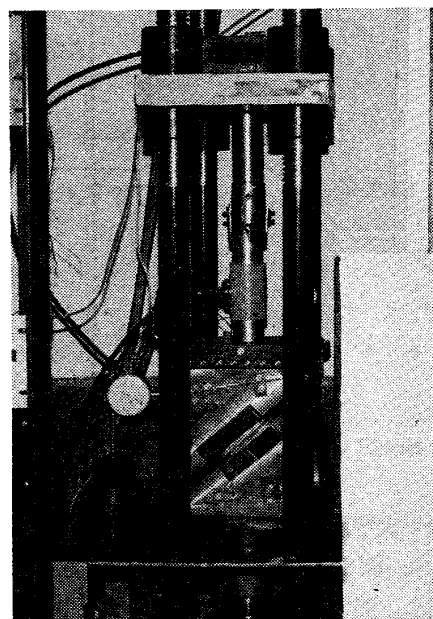


写真-1 岩の節理面せん断強度試験状況

うか、客土効果のある植生穴工、植生袋工を採用する。

構造物による斜面保護工は植生工が困難な場合や用地事情により勾配を緩くできない場合に使用する。コンクリート張り工やコンクリートブロック張り工は地下水の処理を行うことが必要で、水圧が作用することは避けなければならない。石張り・ブロック張り工は大気に触れると急速に風化が進行する岩を対象に風化や浸食の防止を目的として施工する。コンクリート張り工は節理が発達してはく落の恐れがある場所に採用するが、湧水場所には使用しない。のり枠工の枠内には植生工、コンクリート張り、栗石詰めなどを行う。部材の交点には杭またはアンカーを用いる。モルタル、コンクリート吹付け工は岩盤の風化防止やはく離防止に用いるが、湧水場所には使用しない。金網や鉄筋の使用を原則とする。アンカー工は岩塊はく落の可能性がある時に用い、のり枠工、コンクリート張り工と併用する。落石防止工は、落下の恐れがある巨岩を固定したり、落石防止網、落石防止柵、落石止め擁壁を設置する工法である。

また、山地・丘陵地の造成では植生の困難な岩盤斜面が出現するケースが多い。流紋岩の硬岩からなる岩盤斜面に対して植生を試みた例もあり、今後の課題である。

7. 断層対策

断層対策は、①切取り斜面に断層が現れる場合、②盛土の基盤に断層が存在する場合、③切り取った造成地の平地部分に断層が現れる場合の3つに大別して考える。①については第3項で、②については第2項で述べたので、ここでは③についてまとめる。

基岩を切り取った造成地の平地部分は生活空間となるので断層の存在を注意深く調査する。

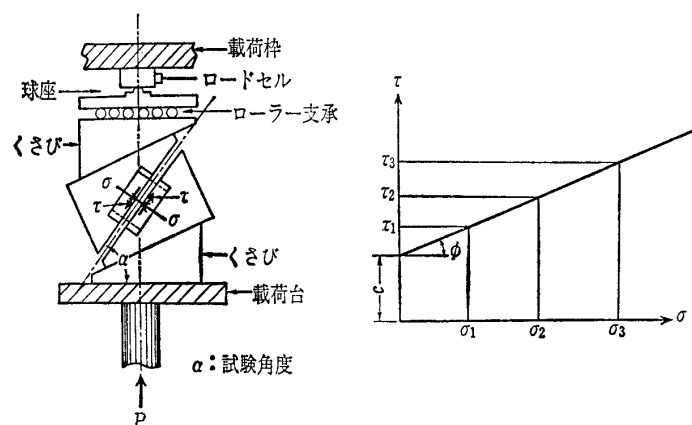


図-9 岩の節理面せん断強度試験

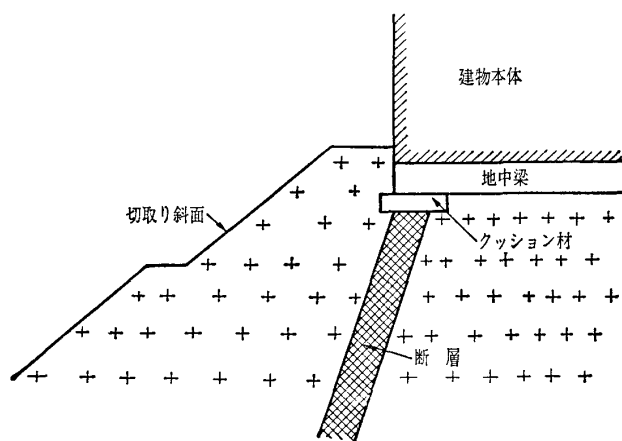


図-10 断層上にくる建築基礎の処理例

切取り後十数年が経った平地に中層の建築を行うにあたり、幅1.5m、深さ0.6～1.0mのトレンチを掘って底面と側面を観察し、建物の配置を検討した例がある。その例では図-10のように建物の90%以上を断層の一方の側に載せたが、用地事情で避けられない部分は張り出した地中梁を片持ち梁として働かせ、主要側に全荷重をかける構造とした。その後、現在に至るまで問題は発生していない。

断層や破碎帯の状況によって考慮すべき点は異なる。雛壇状の切取り造成地で鉛直に近い断層や破碎帯が斜面近くを通っている場合で流れ盤状の節理があるときは、それに沿ってすべりが生じることが多い。また、鉛直に近い節理が斜面の走向と平行またはそれに近い走向を有している場合も水の浸入により水圧が発生し、崩壊することがある。

次に斜面から離れた平坦部に断層や破碎帯が存在する場合を考える。この場合、それを挟んでいる岩の工学的性質に差があるときは、これをまたぐ構造物は避ける方がよい。それは次のような理由による。

- ① 破碎帯粘土がモンモリロナイトを含んでいる場合は、露出部分が水の作用により吸水膨張を起こし、構造物に影響を与える。
- ② 地震時の振動特性が断層や破碎帯部と両側の岩盤で異なるので、これをまたぐ構造物に不調和な振動が生じ、亀裂や破壊を発生する。
- ③ 断層や破碎帯部の支持力は他の部分に比して小さいのが普通で、ここに一部の基礎を置くと不同沈下を起こしやすい。
- ④ 断層の両側の地下水位や水頭の差が大きい場合は、水圧差により地盤変動が発生するので、水平ボーリング孔等で水位の均衡をはかる必要がある。

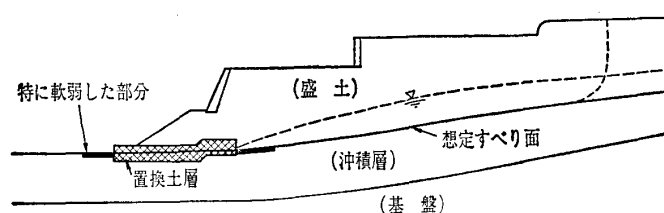


図-11 置換工法によるすべり防止例

8. 地すべり地対策

地盤の特性、地下水の挙動、地盤変状を調査すると、地すべりの可能性の高い地区を想定することができる。一般的に地すべりは崖錐層がすべることが多いが、神戸層群では泥岩にすべり面が想定されることが多い。また、岩盤は断層や破碎帯で切れ、多数の岩塊に分断されており、これらが低い方へ移動することもある。

地下水は直接そこに降った雨水と被圧地下水が水みちを通してきたものから成っている。後者は水みちを通して上昇する間に水頭損失を生じながら透水層に到達し、横流れる。地すべり対策の検討にあたってはすべり面に作用する水圧が問題となるが、地すべりは浅層地下水のみならず岩盤中の深層地下水の影響も受ける。土塊の移動が予測される場所では変位計や傾斜計による観測と水位・水圧の観測が必要である。

このような地盤上に盛土すると安全率は1.0を切ることが多く、滑動抵抗力を増加させる方法を検討しなければならない。対策工として一般的なのは抑止工と地下水排除工を併用するものである。抑止工には杭工、地盤改良工、置換工などがある。地盤改良工は添加剤により土の強度を大きくする工法であるが、透水性や水質を悪化させる心配がある。置換工は弱層を良質土に置き換えるものである。大規模な礫マット層ですべり面の下部まで置き換える工法を採用した例もある。これは地下水の排除にも有効である。図-11に示した例は神戸層群の地すべり地内の造成状況であるが、斜面先付近は絶えず浸出水があり、安全率も不十分であった。そこで斜面先を含む数10mを礫材で置き換え、すべり面のせん断強度増加と地下水低下をはかり、工事を完成した。現在、高層建築物が建っているが斜面等の変状は皆無である。

以上、関西地区の山地・丘陵地の土地造成において見られる問題点をまとめたが、これらは関西地区に限った問題ではない。しかし、まさ土や神戸層群の扱いはかなり経験が必要で、その点では特殊な材料と言えるかも知れない。