近畿地方の地すべりについて

新 関 敦 生*

On the Landslides in Kinki

by Atsuo NIIZEKI

Abstract

The relationships between the displacement of the rock mass and its structural control are obtained by the procedure based upon the geological structure.

Results of studies on the geological structures and landslides in Kinki, are as follows:

- 1) Single fault type 2) Double faults type 3) Triplicate faults type 4) Erosion type 5) Weathering type
- 6) Bedding plane type 7) Bedding plane & fissure type 8) Earthquake type.

1. はじめに

近年国土の利用、開発が高度になるにつれて、開発される場所が、条件の良い場所から次第に条件の悪い場所に移行し、更に土木工事自体が機械化されるに伴い、大規模かつ急速に施工される様になってきた。

それにともない、従来考えられなかった様な各種事故が発生するようになった。

地すべりも、その中の1つであり、重力によって下方移動を起そうとする力に対して、土～岩固有の強度が十分であり、従来ともすればいかなる工事をやっても安全であると考えられていたような場所において、切土～盛土等の工事をやったことにより、バランスをくずし、地すべりが発生したという事例は、近年とみに多くなってきており、中硬～硬岩中に発生する、岩盤地すべりもその1例である。

地すべりは、いくつかの間接的～直接的な原因が組み合って発生するのが普通である。

岩盤地すべりの場合には、移動岩塊全体からすると極めて微量にしかすぎない粘土鉱物の存在が、すべり運動に大きな役割を持つことが多い。

例えば古生層中においては、主としてイライトが、変成岩中においては、主として緑泥石が、新第三紀層中においては、主としてモンモリロナイトが、地すべり運動と密接な関係を有している場合が多い。

これらの粘土鉱物は、母岩の性質と密接な関係にあると考えられる。

又地下水と地すべりの相関関係も密接であり、従来からいろいろ述べられてきてはいるが、しかし、浅層地下水あるいは層状地下水とも称される如き、存在形態を示す地下水のみにかぎらず、いわば、脈状地下水の存在が、地すべり地への地下水供給の場としての役割をも含めて、極めて重要な働きをしている場合が多い。

岩盤中の断層や亀裂などに規制されて存在する脈状地下水は、水量的にも多く、かつ対策の1つとして、それを抜き出してやるのが、地すべりの安定に大きく寄与することは、経験的にも事実である。

通常の場合、事前に地すべり発生を予知するということは、非常にむずかしいことであり、現在開発されている調査法では、その解明に対しては必ずしも十分でない面が多い。

しかし、地すべりは地質構造に規制されて発生することがほとんどであり、その意味からも初歩的ではあるが、まず地質構造を明らかにすることも、地すべり予知にあたっては、極めて重要な事項である。

通常地すべりにおいては、調査、計測→計算、解釈→対策→という一連のものを実施するのであるが、本文では、それらについては一切ふれずに、地すべりを規制する地質構造についてのみ、過去筆者が単独で、あるいは大阪支店地質第一課員と共同で、調査したものの中から、代表的な8例をえらんで述べるものとする。

よって、地すべり発生の場所や事業主名等については

* サンヨーコンサルタント(株)

記載していない。

2. 断層型について

地すべりを規制する地質構造中で、断層が最も重要な、かつ直接的な働きをする場合について述べる。

2-1 1 断層型

○ 地質について

六甲山塊の西端に位置する当地域は、新第三系神戸層群白川累層下部から構成されている。

当地域の南方には、高取山衝上断層が東西方向にのびており、それを境にして、南側には、中生代前期布引花崗閃緑岩や中生代白亜紀～新生代古第三紀六甲花崗岩が分布している。

当域の白川累層は砂岩及び礫混り砂岩が主であり、その中に層厚 2～10 m 程の凝灰岩 7 層、層厚 1 m 以上の礫岩が 3 層、層厚 1 m 程の泥岩が 4 層夾在されている。

砂岩～礫混り砂岩は中～粗粒であり、礫はチャートを主とする亜円礫～円礫からなる。

その中に発達する開口性亀裂は、2～10 cm の幅で開口し、傾斜は急であるのに反し、非開口性亀裂は、傾斜が緩く、亀裂にそって酸化が進んでいる。

凝灰岩は、部分的に極めて風化の進んでいる箇所があり、亀裂は層理面に平行と垂直との2種がある。

礫岩はチャート、珪質砂岩の径 10～40 mm 亜円礫～円礫からなっており、他の岩種と比較すると締まっている。

泥岩は層厚薄く、連続性にとぼしい。

地質構造は、地域南部に ENE-WSW 方向の断層があり、それをはさんで南側では、30～40° 北落ち、北側では 10～20° 北落ちと地層の傾斜角が異っている。

走向はいずれも、主として E～W 方向である。

地域北西部では、N-S 走向を示す部分もあるが、巨視

図-1 地質平面図

図-2 地質断面図

的には、北落ちの単斜構造である。

○ 地すべりについて

当地域には新旧合せて、数多くの地すべりが分布している。

地層の走向傾斜と地すべりとの関係をみると、流れ盤や受け盤あるいは走向と平行な地すべり等いろいろであり、特定の傾向性は認められず、よって地すべり発生をより強く規制しているのは、他の地質的要素である。

その1つが ENE-WSW 走向、 80° S 傾斜で、2.8m 幅の破碎帯をもつ断層である。

断層にそって、その上盤側に2つの地すべりがならんで発生している。

1つは地層の走向と平行な移動方向をもち、東から西にむかってすべっているものであり、もう1つは、地層走向との関係が受け盤であり、北から南にむかってすべっているものである。

前者はかつて、道路まですべり出したことがあり、現在でも地表面の変動が、伸縮計によって把握されるし、歪計によって、すべり面も把握されている。

後者は、現在地表に亀裂が発生したりしており、動きのあることが認められる。

前者周辺を、傾斜ボーリングで調査した結果、断層の上盤側すなわち地すべり岩塊側は水位が高いのに反し、下盤側は低くなっており、その差は直高にして約 10m の差がみられる。

断層が地下水を強く規制していることの外に、断層によって切断され岩盤としての「縁」が切れた、神戸層群

の岩塊が、主として、断層破碎帯ぞいと、凝灰岩中とに、すべり面を形成しながら、地形の自由面にむかって、重力によってすべりだしたものである。

図1、図2 参照のこと。

2-2 2 断層型

○ 地質について

北摂山塊に位置する当地域は、主として、古生代二疊～石炭紀の秩父古生層丹波層群田能層からなっている。

調査地では下位から上位に、砂岩・粘板岩互層→風化チャート→硬質チャート→砂岩・粘板岩互層→風化チャート→赤色粘土化粘板岩・チャート互層→風化チャート→硬質チャートの如き堆積状況を呈している。

その上に崖錐性堆積物がのっているが、東部にいくにつれて厚くなり、小崩壊跡も見られ、岩盤と崖錐境界部では湧水が認められる。

地質構造は、調査地北部に東西走向で南傾斜の小塩山衝上断層がある。

これは 3～5m の断層粘土を伴い、20m の圧碎部が認められる。

この断層は西北方向の田能断層によって、切られていると考えられる。

小塩山衝上断層の北側は、頁岩～砂岩からなり、それをはさんだ南側すなわち調査地周辺はチャートが主であり、更に南になると頁岩が主で、チャート・砂岩・輝緑凝灰岩等を挟在してくる。

調査地周辺は述べた如く断層によって、かなり乱されており、小規模の断層も数多いが、地層の一般走向は

NW-SE で、傾斜は $20\sim 60^\circ$ SW の単斜構造を呈していると考えられる。

○地すべりについて

昭和49、6月下旬から、7月上旬にかけては、梅雨期である上に台風の通過があって、連日の如く降雨があった。

殊に6月30日から7月7日迄は連続して降雨があり、その8日間の降雨量は、190 mm であった。

7月8日に工事中の切土法面に地すべりが発生したのが確認された。

地すべり規模は、最大直高 25 m、最大幅 47 m、厚さ 7 m 内外である。

ちなみに切土法面の最大直高 59 m, 法勾配 1 割, 直高 5 m 毎に幅 2 m の小段をもうけ, 南向き～南西向き～西向きの, 3つの切土法面をつくっていたが, 当初は南向き法面中に地すべりが発生した。

地すべり発生当初の滑落崖周辺での変動量は、上下移動量 1.5 cm/H、水平移動量 0.7 cm/H であり、回転運動の傾向を示していた。

運動方向は、むしろ南西方向を示し、舌端部は「はらみ」出ており、その部分に集中的に4箇所湧水が確認された。

地すべり東端の下半部は、N 25°W 52°SW の断層に
 そって、又両端の下半部は、N 13°E, 54°SE の断層にそ
 って切れ、移動している。

これらの断層にそって、岩盤の風化が非常に進行し、チャートは風化チャートになっているが、地すべり平面形は西端の上半部では、風化チャートに強く規制されている。

地すべり東端の中間部では、赤色粘土化粘板岩を挟在するチャートに主として規制されている。

滑落崖周辺では、硬質チャート中に発達する亀裂に規制されているのが確認される。

地層の走向傾斜は法面全体として見た場合には、乱れているが、地すべり周囲では、北西の走向で、南西に傾斜しているのが多く、それと地すべり運動方向とが一致している。

述べた如く、地すべりの構造規制はいくつかあるが、すべり岩塊を不安定にした最も大きな条件は、相対して交錯する2つの断層である。

湧水は、舌端部に集中していることはのべたが、その外は、崖錐性堆積物と岩盤との境界部、チャートと赤色粘土化粘板岩・チャート互層との境界部に集中している。

すなわち地下水流路も地質的特性に左右されているこ

とが多い。

集水面積は極めて小さいが、降雨後湧水が増大する傾向が強い。

其後のボーリングによっても、地下水が豊富であることが確認されているが、それらも、すべり運動形態に強く作用しているのは当然である。

この第1次地すべり発生後にそれと隣接した南西向き法面の、かねて推定していた場所に、第2次地すべりが発生した。

圖-3 地質平面圖

图-4 断面图

その構造規制で最も重要な働きをしているのは断層である。

第 1 次地すべりは、 $L/W=0.8$ であり、角形の平面形を呈するのに反して、第 2 次地すべりは、 $L/W=1.2$ の馬蹄形の平面形を呈している。

第 2 次地すべりの舌端部周辺の岩質は、第 1 次地すべりのそれと比較すると、多少異なっているが、他の部分では極端な差異が見られないのに、平面形が異なっているのは、切土法面に露出する断層の延長と地形条件の相異、ならびに断層規制条件（2 断層と 1 断層）が異なっている為である。

図 3, 図 4 参照のこと。

2-3 3 断層型

○ 地質について

南流して播磨灘にそそぐ市川の、左岸に位置する当地域は、主として秩父古生層からなり、これに貫入した小規模脈岩類が見られる。

それらをおおって、段丘堆積物～崖錐堆積物が分布する。

秩父古生層で最も広範囲に分布しているのは、暗灰色を呈する粘板岩であり、風化が進むと層理面から剝離するが、屋根部では殊に風化が進んでいる。

亀裂は層理面に直交するものが優勢である。

それと互層状をなして、暗灰色細粒砂岩が分布するが、地すべり地周辺にかぎれば、むしろ、粗粒なものが多い。

亀裂は層理面と直交する 2 方向のものがある。

粘板岩中にレンズ状をなして、チャートが夾在している。

調査城南西部では層厚が増大し、最大層厚 50 m である。

亀裂は層理面に直交するものが多い。

脈岩は、淡灰色の石英斑岩であり、部分的に、ろう石化作用等を受けている。

全体的に風化作用が進んでいる。

貫入方向は北西～南東である。

図示してはいないが、北接して、姫路酸性岩類と称される火山岩類が産している。

秩父古生層は、部分的には微褶曲構造も認められるが、巨視的には、 $N50^{\circ}E$ 走向で、 $30\sim70^{\circ}NW$ 傾斜を持つ、単斜構造と考えられる。

比較的規模の大きい断層は、 $E-W$ 系の走向をもっている。（例えば $N85^{\circ}W$, $85^{\circ}SE$, $5\sim6m$ の破碎帯を伴い、層理面の傾斜も乱されているもの等）

露頭で確認できるものと、後述する様に調査によって確認されたものがある。

又当地域の南方には略東西方向に山崎断層がある。

地すべり地の地質構成は、下部から上部に粘板岩優勢互層→凝灰岩優勢互層→粘板岩優勢互層→砂岩優勢互層→粘板岩優勢互層→砂岩優勢互層→旧地すべり岩塊、崖錐等の如くであり、亀裂は斜面に対して、流れ盤～直交をなすものが多い。

○ 地すべりについて

約 1 年間隔で、2 回地すべりが発生している。

第 1 次地すべりは、直高 60 m の切土工事がほとんど完了に近づいた時に、法面にそって発生したものであり、規模は $L=110m$, $W=90$ である。

地すべり発生前 10 日間は、降雨がなかったが、昭 49. 3.6 に 21.5 mm の降雨があり、翌 3, 7 夜に地すべり、滑落が発生した。

変動開始の時点は明かでないが、比較的短時間に滑落したものと考えられる。

地すべり頭部から側面にかけて、北部ではせまく、南部では規模の大きい陥没帯が見られ、舌端部周辺一帯では、滑落後の地形と切土工事前の自然地形とが、完全に一致している。

地すべり岩塊の移動方向は、頭部周辺は南西方向に、舌端部周辺に寄るにつれて、西方向に向きを変えて、あたかも時計回りの移動を示している。

移動量は頭部周辺では、 $13\sim17m$ であり、舌端部周辺に寄ると、 $19\sim21m$ と大きくなり、それらの中間部では、 $17\sim18m$ であり、また北側面周辺では $10m$ と小さい移動量である。

これは、滑落直前の地形条件に規制されているのと、更には、断層や亀裂などの岩盤の弱い部分に規制されて、図示した如き運動ブロックに分割された結果であり、各ブロック間で相対的な沈下隆起の変化も認められる。

第 2 次地すべりも、いつ変位が発生し、いかなる経過で発展してきたのかは不明であるが、少量の積雪があり、それがとけるというくり返しの中で、昭 50. 2.26 切土工法の異常な変位と亀裂とが認められ、同 2.27 早朝地鳴りを 2 回生じながら滑落したものであり、すべり面が法面中にあった為に、短時間で滑落したものである。

まず陥没帯を伴う前面地すべりが発生～滑落し、それが後方地すべりを誘発して、いわゆる復合地すべりを形成したものである。

全体の規模は $L=165m$, $W=120m$ である。

地すべり発生前は直高 7 m 毎に小段をもうけた法面が、13 段あったのであるが、下から 4 段目までは湧水が非常に多かった。

殊に東西系断層からの湧水が多いのが特徴的であっ

図-5 第一次～第二次地すべり平面図

図-6 断層破碎帯平面図

た。(例 断層 $N87^{\circ}W, 44^{\circ}N$ 湧水 300 cc/min)

すべり面は、その地下水の多い部分に発生している。すべり面深度は、移動岩塊の中央部では比較的浅くて、下から3段目の法面にあり、北側と南側では、多少深くなっており、下から2段目にある。

同一地すべりであっても、この様にすべり深度が異なっていることは、滑落岩塊の分布状況からも、うかがい知ることができる。

第1次、第2次地すべりの概況は、この如くであるが、第1次地すべり発生後、乱された滑落岩塊上で、放射能探査を実施した結果、南北方向にのびる滑落崖を規制している如き同一方向性の推定断層と、すべり移動方向と

平行で、東西方向のもの2帯、その他いくつかの断層が推定された。

第2次地すべり発生後実施した、多くの水抜き水平ボーリングによって、すくなくとも、すべり範囲内にかぎ

図-7 地 質 断 面 図

れば、上記推定断層の存在が確認されているし、その断層破碎帯にはいると、湧水量が増加するという傾向性が、極めて強く認められる。

湧水は、孔口での水温が、 $12\sim 22^{\circ}\text{C}$ （日中気温 $34\sim 36^{\circ}\text{C}$ ）であり、炭酸カルシウム型地下水である。

鉛直ボーリングによって確認された、降雨と地下水位変動との関係は、舌端部に近づくにつれて、弱変動型になり、逆に滑落崖に近づくにつれて、強変動激変動型になるという傾向性を有している。

道路測点毎に、切土法面とそれを切るすべり面との交点の標高を求めてみると、測点 No. 821 では 121.3 m 、No. 822 では 117.0 m 、No. 823 では 120.9 m 、No. 824 では 129.0 m 、No. 825 では 120.9 m 、No. 826 では 127.0 m である。

すなわち水平ボーリングで把握した、すべり方向と同一な方向性を有する、平行した2つの破碎帯周辺では、それに規制されて、すべり面深度が深くなっているということが明かである。

又略東西方向に直線状にのびる、地すべり北側面は、水平ボーリングで把握された方向も位置も同一な、破碎帯に規制されていると考えられる。

つまり、地すべりの原因は層理面が流れ盤をなし、剝離を発生する如き方向性の亀裂も発達している場所で、高い切土をして、山体のバランスをくずしたことに加えて、脈状地下水を豊富に胚胎し、風化前線も部分的に深い断層破碎帯が、切土法面に直交する方向に、3帯平行して存在することが、地すべりの平面形及び深さの両者を規制していることから、破碎帯の影響が極めて強い、地すべりであるといえる。

又古い土石流発生跡や古い亀裂～地すべりも周辺で確認されている。

図5、図6、図7 参照のこと。

3. 侵蝕型～風化型について

地すべりを規制する地質構造として、断層の存在が確実に認められるが、それから派生した条件が、より強く作用している場合。

3-1 侵蝕型

○ 地質について

両白山地西端に位置する、当地域は中生代中部ジュラ紀～下部白亜紀の地層と考えられる、手取層群中の赤岩亜層群に属する、花崗質砂岩、頁岩、礫岩等が、地形的下部に分布し、更に地形的上部には、時代は明確ではないが、新生代新第三紀中新世もしくは先第三紀のいずれかであろうと考えられている流紋岩が分布し、それら両者

をおおって分布する崖錐性堆積物等とからなっている。

手取層群は、調査地中央部すなわち地すべり地中央部にある断層（ $N 48^{\circ}E 77^{\circ}SE$ ）をはさんで、その南側では地層の走向傾斜が、 $N 5\sim 20^{\circ}E 24\sim 27^{\circ}NW$ であるのに対して、北側では、 $N 58\sim 73^{\circ}W 23\sim 28^{\circ}SW$ である。

この様に断層を境にして傾斜が逆になっている現象は、更に北部でも確認されており、あたかも、モザイク構造を呈している。

又手取層群中で確認される断層は主として東西系のものが多い。

3 cm 幅の断層粘土を伴う逆断層、 25 cm 幅の破碎帯を伴う落差 130 cm の正断層、石英脈を胚胎する断層等いろいろである。

花崗質砂岩、頁岩のいわゆる下部層の上に、礫岩、泥質砂岩頁岩～互層の上部層ののっているが、その関係は不整合である。

手取層群をおおって流紋岩が分布しているが、それは石英斑晶が大きく、ネバダイト質なのが特徴であり、堆積岩類とは異なる特異な地形を呈している。

亀裂方向は手取層群中では、 $S-N$ 、 $E-W$ 両方向のものがあるのに対し、流紋岩中では $S-N$ 方向のものが多い。

断層とか地すべり面周辺では、局部的に風化が非常に進んでいる部分が認められる。

巨視的には南部よりも北部にいくにつれて、断層数も多く、風化も進んでいる傾向が認められる。

最上部に分布する崖錐性堆積物等は、岩盤境界近辺で、より粘土質になっている。

○ 地すべりについて

断層にともなう破碎帯の存在と、それに強く規制されながら進行している風化帯とに起因して、侵蝕が進み、断層と同一方向性の東西の沢が形成されている。

その沢にそって、新規堆積物が形成されており、その下部岩盤の状況は、述べた如く、断層をはさんで北側では、北西走向で、南西傾斜であり、南側では、南北走向で西傾斜である。

つまり、これら3者は共に略流れ盤状を呈し、又新規の堆積物が流れ盤状を呈する頁岩上に直接している場所も認められるし、更に沢の北南東側の山体から、岩盤境界や地層面にそって、地すべり地内に水が集まりやすい形態を呈している。

湧水も各所で認められるし、調査の結果、全般的に地下水位が高く、新規の堆積物や強風化帯等は、あたかも地下水で飽和されている如き状況を呈すること、断層中に脈状地下水が胚胎していることが確認されている。

この様な条件下で地すべりが発生しているのである

が、地すべり地域の北東部に分布する流紋岩の新鮮な岩盤や、手取層群の新鮮な岩盤は、すべておらず、主として崖錐性堆積物等がすべっている。

地すべりは、馬蹄形の末端開放型であり、過去数回にわたり運動をおこなっており、現在耕作中の田の中に滑落崖が認められるのが、最も外側の地すべりである。

昭 47.8 の降雨によって、すべり運動が大きくなったが、その中で最前面地すべりの一部土塊の含水量が極めて大きくなり、更に末端開放型を呈する如き地形的条件もあって、あたかも土石流状をなして流下した。

地すべり全体を見ると、堆積性地すべりではあるが、そのよってきたる原因は、地すべり地中央に断層が存在すること、それにそって風化が進んでいること、風化にそって侵蝕が進んでいること、層理面が流れ盤状を呈すること、地下水（脈状～浅層）が豊富であることが組み

図-8 地すべり地質調査 (地質平面図)

図-9 地質断面図

図-10 地質断面図 (凡例は地質平面図と同一)

合って発生したものである。

図8, 図9, 図10 参照のこと。

3-2 風化型

○ 地質について

長峯山脈の西端に位置する当地域は、古生界の変成相と考えられている、長瀨変成岩類から成っている。

下部には緑色片岩の軟岩～中硬岩が分布し、部分的に褐色に酸化した亀裂が認められ、片理や小規模破碎帯も発達する為に、ボーリングコアはおおむね半壊細壊コア状を呈するものが多い。

その上に緑色片岩の強風化岩～風化岩が分布するが、これは風化が進んで、ほとんど褐色を呈する部分からなり、褐色に酸化した亀裂も多く、強風化岩中には、部分的に褐色粘土を夾在するものも認められる。

最上部には崖錐性堆積物がのっており、これは径 30～50 cm の風化岩塊を含有し、基質は粘性土が主である。

緑色片岩の片理は、小断層によって乱されている部分もあるが、巨視的には、走向 E-W～N 70°W であり、傾斜は 50° 以上で N 落ちのものが多い。

附近の露出状況が悪い為、露頭で確認された断層は数少ないが、ボーリングによって小断層が多く確認されている。

したがって、方向性の定かでないものが多いが、露頭で確認されたそれは、N 60°W 17°S である。

つまり小断層の方向性は流れ盤をなすものもあるが、片理の方向性は受け盤をなしているといえる。

○ 地すべりについて

山腹斜面の一部を切土して、上下 2 段の造成平面をつくった状態になっていたが、昭 47. 7 豪雨によって、下段切土法面中にすべり面を有し、南西方向に移動する地すべりが発生した。

地すべり規模は L=75 m, W=60 m であり、N 20°W～N 55°W の方向性を示す、最大落差 80 cm の滑落崖が確認される。なおこの周辺は、従前から不安定であったということを示す、古い滑落崖も確認される。

地下水位は南西に寄るに従って高くなり、かつ湧水も

図-11 地すべり範囲平面図

図-12 地質断面図

多くなっている。

試験的な1本の水抜きボーリングから、9 l/min の炭酸カルシウム型地下水を抜き出した結果、その周辺の水位が 5 m 低下した。

雨量強度によっても左右されるが、降雨によって簡単に、1.5 m 内外の水位上昇を示す。

地下水垂直検層によって、地下水位面附近に地下水流動面の存在を確認したが、その中の一部は、コア状況から、小規模断層にともなう粘土に規制されて流動しているものと判断され、なおかつ、すべり面もその周辺にあることが明かになった。

すべり面は、部分的には、この様な小断層に規制されながら、全体としては、酸化亀裂も多く、風化の進んでいる風化岩中にあることが確認された。

図 11, 図 12 参照のこと。

4. 層理面～亀裂型

地すべりを規制する地質構造として、層理面や亀裂が、最も重要な働きをする場合について述べる。

4-1 層理面型

○ 地質について

近畿地方内帯部に位置する当地域は、主として新第三紀、中新世の神戸層群、吉川累層から構成されている。

調査地では下部から上部に、下部泥岩、礫岩、下部砂岩、中部泥岩、上部砂岩、上部泥岩（断面位置では現われてこない）の如く堆積しており、3～5° で南にゆるく傾斜している。その上に盛土がのっている。

下部泥岩は青灰～緑灰色のシルト混り泥岩で、固結度高く、部分的に炭質物凝灰岩は夾在している。

酸化した亀裂も認められ、層厚は 3 m 以上である。

礫岩は黄～灰白色を呈する中～細礫と、粗砂を主とした基質とからなっている。

礫～基質共に著しく酸化されている部分が多く、見掛含水比も高い。

層厚 3.5～4.2 m である。

下部砂岩は青灰～灰色を呈し、凝灰質であり、中～細粒砂が主体であるが、まれに径 10～30 mm の亜円礫を含んでいる。

層厚は 2.1～2.8 m であるが、その中間部には黒褐色

の炭質物を夾在する、層厚 0.35 m のシルト岩～泥岩があり、水平方向の鏡肌が認められる。

南部では酸化亀裂が多いが、北部では酸化をうけていない。

中部泥岩は、黄灰～緑灰色のシルト混り泥岩～シルト岩からなっており、固結度は高い。しかし砂分が多くなる部分は、軟質で含水量も多い。

この層中をボーリング中に完全漏水する部分と鏡肌を有する部分との両者を確認している。層厚は 1～2.5 m である。

上部砂岩は緑灰～黄灰色の細砂岩を主としている。

亀裂が多く、その一部は酸化している。

層厚は 2 m である。

上部泥岩は灰白～淡黄灰色を呈する、シルト岩～泥岩等からなっているが、細砂岩の薄層を夾在している。

全体的に酸化が進んでおり、層厚は 2 m 以上である。

盛土は黄～黄褐色を呈する、礫混り砂～粘土混り砂等からなっている。

相対密度は「緩い～中位」であり、見掛含水比は「中～大」である。

当地区では酸化した亀裂が多く、泥岩や砂岩も凝灰質の部分が多く、又岩盤の風化前線の深度も、地すべりとの関係が深い分布状況を示している。

○ 地すべりについて

昭 49. 7 に大きく変動を始めたが、その前から軽微な動きは察知されていた様である。

盛土した場所なので、盛土部が動いているとの推定から、鋼矢板打込みなどが行なわれたが効果はなく、むしろ矢板打込みの振動によって変動が激しくなる傾向さえみられた。

亀裂の変動量を、昭 49. 9. 10 から 9. 27 (一部は 9. 15 から) まで 7 箇所において測定した結果をみると、18 日間での累積変動量の最大値は 55.7 cm であり、最小値は、0.7 cm である。

変動は降雨後すみやかに増大する傾向性を有している。

移動方向は北西→東南である。

この地すべりは、ほとんど水平に近い堆積状況を示す神戸層群の上に、盛土をしたことによって発生した、地すべりであり、L/W は 1 に近い。

盛土厚は、1.3～7.25 m と薄く、すなわち、それほど荷重が、かかっていないにもかかわらず、岩盤中に破壊を生じたものであり、破壊面すなわち地すべり面は、酸化亀裂～夾炭層～地層境界～岩盤風化部などの、各地質的弱線をつないだ形態を示している。

図-13 地すべり平面図

図-14 地質断面図

4-2 層理面+亀裂型

○ 地質について

丹生山地の東端に位置する当地域は、新生代、新第三紀、中新世の国見累層からなっている。

これは、砂岩、砂質泥質凝灰岩、泥岩それに過去に地すべり運動があったことを示す破碎された砂岩等からなっている。

地層の走向は $N 52^{\circ} \sim 85^{\circ} E$ もしくは $N 82^{\circ} W$ などであり、いわば略東西方向を示している。傾斜は $12^{\circ} \sim 40^{\circ} S$ であり、地すべり地内は、 $12^{\circ} \sim 18^{\circ} S$ である。

すなわち、地形が南落ちの斜面なので、流れ盤をなしている。

次に岩盤中の亀裂の発達状態であるが、北東系のものは、 $N 15^{\circ} E$, $65^{\circ} E$ (2 cm 開口), $N 20^{\circ} E$, $80^{\circ} E$ (1 m につき 3 本), $N 50^{\circ} E$, $42^{\circ} \sim 70^{\circ} NW$ (1 m につき 5 本) などであり、北西系のものは、 $N 25^{\circ} W$, $84^{\circ} SW$ (1 m につき 20 本) が代表的なものである。

国見累層の上に、崖錐性～現河床堆積物が分布している。

○ 地すべりについて

昭 47. 7 豪雨によって、活動を開始し、其後運動を継続していたが、12 月にはいって、滑落するにいたった。その間の代表的変動状況を記す。

△ 7 月 12 日 土取場跡の切土法面中央部周辺で、崖錐と岩盤の境界部周辺から、2 箇所ばかり突出的湧水があり、斜面崩壊も発生した。

△ 7 月 20 日 移動土塊と不動土塊とをまたいで埋設されていた、径 75 mm の簡易水道ビニールパイプが、約 10 mm の横ずれをおこして破壊した。

△ 9 月 10 日 地すべり両端に位置する田の北側が上昇して、水が均一にのらなくなった。

又その近辺で簡易水道ビニールパイプが約 10 cm 移動した。

△ 10 月 3 日 滑落崖が遠方から確認されるまでに大きくなり、建築物 (住宅、工場等) の変状が著しくなった。

△ 10 月 9 日 簡易水道ビニールパイプが、移動～不動両土塊にまたいで埋設してあるが、移動量が大きくなった為に、径 25 mm 以下のものは、曲げられて、その一部が地上にもち上った。

地下 10 cm に埋設してあるものが、曲って地上 10 cm に、地下 20 cm に埋設してあるものが、延長 75 cm にわたって、地上 12 cm に、又一端が自由になっているものは、22 cm 押し出された。

径 75 mm のパイプは、設置方向にもよるが、切断さ

れ、5 cm ずれている。

滑落崖の最大落差 160 cm, 最大水平変位 55 cm, 舌端部の最大盛り上り 30 cm であった。

△ 12 月 2 日 午前 1 時 30 分頃滑落した。11 月中旬以降連日の如く降雨が見られ、それに応じて累積変動量も大きくなり、地すべりの西半部が、後述する理由により、事前に推定していた南西方向に、滑落したものである。

降雨量や伸縮計測定結果等については、過去に公表されている。

以上が地すべり発生から、滑落にいたるまでの概要であるが、地形を見ても、乱された岩盤を見ても、過去に地すべりがあった場所であることは明かであるが、この時には、地すべり変動量が大きくなる迄、地すべりであるとは気がついていなかった。

地すべりの原因は、地すべりの前歴を持つ場所を土取場として大きく切土をして ($3 \sim 5$ 万 m^3)、岩塊のバランスをくずしたこと、昭 47. 7. 豪雨があって水が多量に供給されたことの 2 つは当然のことであるが、国見累層

図-15 地すべり亀裂関連図

は流れ盤をなしており、凝灰岩類の中に非常に粘土化が進み、すべり面として極めて適した部分があること、更に加えて、発達している亀裂によって岩盤が岩塊に分離しやすいことが考えられる。

殊に地すべり平面形や深度、すべり方向や滑落の方向等は、層理面と複数方向の亀裂面とから合成された弱線に完全に規制されている。

図 15 参照のこと。

5. 地震型

地すべりを規制する条件として、地質構造や岩石の力学特性や地下水や地形条件等、諸種の条件が重複しているが、地震もあずかって力が大きかったと考えられる場合であり、必ずしも構造規制の範疇には、はいらないが極めて特異な例なので分類した。

5-1 地震型

○ 地質について

南北につらなる生駒山地と金剛山地は、主として領家花崗岩類から成っているが、この両山地の接点に位置する、せまい地域は、主として二上層群から構成されている。

この周辺は、巨視的には構造的弱線部である可能性が強いと考えられるが、当地すべりは、この様な位置にある。

従前の考え方では、新生代、新第三紀、中新世（一部鮮新世?）の二上層群とされているもののうち、当地域には上部の原川累層、寺山火山岩類、定ヶ城累層が分布し、更に第四紀、大阪層群が分布、最上部には崖錐性堆積物等がのっている。

当地域の原川累層は、礫岩と粗～中～細粒砂岩が主であり、他に凝灰質砂岩、凝灰岩、泥岩などもみられる。

一般的には薄層をなし、単層の連続性がとぼしく、異常堆積を示したりする部分が多い。

当累層中に発達する亀裂は、南北系、北東系のものが多い。

寺山火山岩類は石英安山岩からなっているが、当地域での分布範囲はせまい。

定ヶ城累層は火成岩類、変成岩類の円磨度の色い礫を含み、基質は粗砂を主とする礫岩からなっている。

大阪層群は円磨度の良い大～小礫を含有し、基質は砂からなる砂礫層である。

崖錐性堆積物は砂質土～粘性土中に各種礫を含有する未固結層である。

二上層群と大阪層群は地すべり地北方をとおり、N65°E 40°Sの断層で接しており、断層の南側すなわち、地すべり地側には二上層群、その北側には大阪層群が分布している。

前者は東西系の走向で断層の近くでは北に傾斜しているが、褶曲構造も認められ、後者は南に傾斜している。

原川累層中には東西系～北東系の小断層が、いくつか確認される。

○ 地すべりについて

当地域では、切土を主体とした工事が、昭41から行

なわれていたが、その周辺で、昭44.4に地すべりが発生した。

地すべり平面形は台地状を呈し、上部幅は、135m、下部幅は330mであり、長さは200mである。

すべり面深度は約35mである。

当地域北方には大和川断層があり、地域内においても述べた如く、東西系等の小断層があり、更には亀裂の発達や岩石自体の性質も、地すべり発生を強く規制していると考えられるが、土木工事によって土～岩塊のバランスをくずしていたところに、なたねつゆや梅雨によって、地下水位が著しく上昇したこと等が地すべり発生活発化の大きな原因になったことは明かである。

これらについては、すでに報告されている。

その他にも誘因があったと考えられ、その1つが地震である。

地すべり発生前年は全国的な被害地震（M5以上）が6回あり、例年と比較すると非常に多い。

近畿地方有感地震回数は例年は、110～140回位なのに対して、地すべり前年は、198回であり、比較すると41～73%の増加である。

又大阪と奈良とで観測した震度I～IIIの有感地震回数も、当然であるが、前者同様に地すべり前年には非常に多くなっている。

次に新しい地すべり地の北部一帯は、航空写真で見ると古い地すべりが分布しているし、現地踏査してみると、実に多くの瑕疵があることが確認される。

亀裂間の前後関係とか、亀裂面自体の状況とか、植生（殊に松）状況等を総合して考えると、新しい地すべり発生以前の昭和40年代から30年代、あるいはそれ以前にかけても何回か地すべりがあったことが確認される。

古い滑落崖で最も大きい垂直変位は、200cmであり、最も大きい水平変位は、40cmである。

地すべりの発展過程は、まず前面に小規模な地すべりが発生し、次にそれが後方に発展していくという過程が一般的であるが、当地域の場合においても、その様な過程があったのかもしれないが、すくなくとも現在、地表で確認できるのは、後方の地すべりが古くて、前方の地すべりが新しいという事実である。

あるいは地すべり発屋過程にも、前方→後方→前方という1つの輪回をもつものが、あるのかもしれない。

以上を要約すると、地質的特性他に起因して発生していた古い地すべり地の一部で、土木工事をしない、旧移動土塊等のバランスを多少悪化させた上に、地震によって更に不安定な状態が増大されたり、地下水状況に変化をきたしたり、更には、なたねつゆ～梅雨等による地下

図-16 地すべり平面図

水上昇の悪条件が重複して作用した為に、地すべりが再発しかつ移動速度が増大したものと考えられる。

図 16 参照のこと。

6. ま と め

古生代、秩父古生層～長瀬変成岩類、中生代、手取層群、新生代、新第三紀、神戸層群～二上層群～国見累層などの中で発生している地すべりについて、主として地質構造にいかん規制されているかを、近畿地方を中心として検討した。

その要約は、次の如くである。

1) 1 断層型

岩盤が断層で断断され、かつ地下水も断層によって規制されている条件下で、地形の自由面にむかって、すべる機構。

2) 2 断層型

交錯する2断層が組み合った結果として、岩盤中に形成された、3 角形に断断された部分が不安定であり、更に流れ盤であるという条件と地質構造に規制された地下水も豊富であるという条件が加味されて、すべる機構。

3) 3 断層型

平行して3断層が存在し、すべり範囲もその断層に規

制され、すべり深度も断層ぞいに深くなっており、更に断層に規制された脈状地下水が豊富であり、流れ盤であるという条件も加わって、すべる機構。

4) 侵蝕型

断層にそって風化作用が進み、風化帯にそって侵蝕作用が進み、侵蝕された凹部に新しい堆積物が形成されて、それがすべる機構。

ただし流れ盤であるとか、地下水が豊富であるとかの条件も加わる。

5) 風化型

小断層が流れ盤状を呈して存在し、それにとまなう粘土が、地下水流動を規制し、かつすべり面の一部にもなっていることに加えて、小断層や酸化亀裂が多いことに起因して、風化作用が進んでいる為に、すべる機構。

6) 層理面型(夾炭層型)

力学的強度の低い夾炭層を中心として、酸化亀裂や地層境界や風化部などを結んだ線に発生する、すべり機構。

7) 層理面+亀裂型

複数方向に発達する亀裂によって、岩盤が分離して、岩塊状を呈し、更に流れ盤状を呈する層理面にそって、すべる機構。

8) 地震型

旧地すべり地内で土木工事を行ない、更に加えて地震で、不安定度の増加、地下水状況変化等が発生し、すべ

る機構。

地すべり発生を事前調査で予測することは、きわめて困難な問題とされている。

岩盤地すべり発生は、地質構造に規制される場合が非常に多いので、その予測にさいしては、まず各種調査を目的に合致する様に組合せて、かつ適正に配置し、各々の解析限界を補なって、より正確な地質構造を把握することが必要であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 得能正博・立見恒夫 (1971): 西名阪道路の地すべとその処理 (その 1), 土木施工, Vol. 12, No. 3, pp. 21~32
- 2) 得能正博・立見恒夫 (1971): 西名阪道路の地すべとその処理 (その 2), 土木施工, Vol. 12, No. 4, pp. 17~27
- 3) 渡 正亮 (1973): 安居山の地すべり運動, 施工技術, Vol. 6, No. 7, pp. 109~112
- 4) 土質工学会 (1975): 傾斜地造成の防災
- 5) 皆川信弥・神保 恵・鈴木雅宏 (1975): 山形県最上郡大蔵村赤松地区山崩れの地質学的考察, 地すべり, Vol. 12, No. 2, pp. 9~18
- 6) 竹内篤雄 (1975): 地すべり運動に対する地下水流脈の役割について, 応用地質, Vol. 16, No. 3, pp. 1~11