

## 54. 昭和13年7月上旬の降雨 による兵庫縣下の山崩

地震研究所 宮 部 直 巳

(昭和13年9月21日發表—昭和13年9月20日受理)

1. 本年(昭和13年)7月初旬に、關西方面に多大の降雨があり、7月5日には各河川氾濫して、殊に神戸附近では、大小の礫並に土砂を流出し、慘憺たる災害を生じた。その被害の状況、分布等に就いては、已に、災害科學研究所の調査報告<sup>1)</sup>がある。

筆者は、8月初旬、その被害状況を見る機会を與へられたので、山地の崩壊状況とその被害に關して、些か見聞した所を茲に報告する。

2. この度の、所謂水害の特質とも言ふべき點は、極めて多量の礫及び土砂が山地から水と共に流出したといふ點にある。その礫や土砂は、“山津浪”といふ概念で知られてゐる様に、その流路に在つた構造物を破壊したり、洗ひ去つたりした様な害よりは水の流れによつて、土砂が家屋等の中に運び込まれ、之を埋めたための害の方が一層大であつた様に思はれる。

例として住吉川附近の状況について述べる。第1~3圖は、阪神電鐵住吉驛附近及び、省線住吉驛附近において土砂に埋つた家の有様を示したもので、甚しいものは、階下が殆ど土砂で埋め盡されてゐる。土砂の堆積状態は、阪神電鐵住吉驛附近では最大1.0m乃至1.5m位であるが、省線住吉驛附近では2.0m以上に及ぶと思はれるものもあつた。

第4圖は、やはり、省線住吉驛の南約500mの住宅地内における被害状況であつて、この場合は、土砂を含んだ水流の爲に家屋の一部が破壊され、電柱がやゝ押し狂げられてゐる。

阪神國道以南の地域は、傾斜も緩やかである。そして、土砂の流は省線の北側から2支流に分れ、住吉川の東側と西側とに堆積してゐる。この附近に見られる土砂の堆積状態の特徴とも言ふべき點は、

(i) 大部分が細砂であつて、礫と稱すべき程度の大きさのものは見あたらない。

(ii) 家々の裏の空地、校庭等に、比較的厚く堆積してゐる。

等のことである。

1) 災害科學研究所報告 1 (1938)。

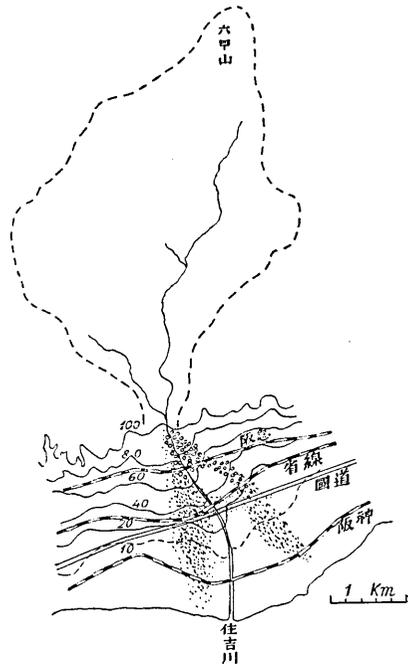
是等のことは、土砂を運んできた水流が比較的浅かつたか、その流速が比較的小さかつたか、或は又その両方であつたかを意味するであらう。

土地の傾斜が緩やかなことや、浸水した地帯の幅が非常に廣くなつてゐたこと等は上記の何れにも符合する事實である。

住吉川附近の状況に關して、一寸注意されることは、阪神國道より北側の地域に於いて礫が多いことである。第5~6圖は、阪急電鐵線附近の状況を示すものであるが、この附近では、徑10cm乃至30cm位の礫が非常に多い。又、國道附近省線の陸橋(その上を住吉川が流れてゐる)附近には、徑50~60cmの大礫も多數にある。住吉川附近における礫の分布を示すと、大體において第7圖の様になる。圖中點々は土砂の多い地域、小圓は礫の多い地域を略示するものである。是等のことは、この附近における氾濫當時の流の速さのある測度(measure)を示すものではないかと思はれる。<sup>2)</sup>

例へば Sainjon によれば、礫の直徑とその礫を運ぶに要する水流の速度との關係は次の通りである。<sup>3)</sup>

礫の直徑	水流の速度
0.25 cm	25 cm/sec
1.0 "	50 "
4.0 "	100 "
10.0 "	150 "
17.0 "	200 "
38.0 "	300 "
67.0 " ?	400 " ?



第7圖 住吉川沿岸地域の土砂及び礫の分布状況略圖。

これは勿論礫が全體水中に浸る程度の水量がある場合の議論である。

この結果が直に現在の場合に適用出来るとすれば、阪神國道の北部における氾濫時の水流の速さは約1.5乃至2.5 m/secといふことになり、國道以南における、水流の速さは、0.25 m/sec 若しくはそれ以下であるといふことになる。

氾濫した水の流速の推定値を用ゐて、更に次の様に流の斷面積及び單位時間の水の流出量がある程度まで推定することが出来る。理想的な場合を考へ、Gravelius の與

2) 大なる礫が遠くまで運び出されてゐるこゝは岩塊それ自身の質量が大である爲、斜面を轉落する時のその岩塊の運動量が大であつたこゝにもよるのではないかと思はれる。(第8圖寫眞参照)。

3) RUDKZI, *Physik der Erde*, s. 474.

へた式

$$V_m = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{L}}} \sqrt{Li}^{.45}$$

が成立つものと考へる。こゝに、 $L$  は hydraulic radius で、水が半径  $R$  の管の中を流れるとした時、 $L = \frac{1}{2}R$  で與へられる。又  $i$  は傾斜で、 $\gamma$  は、管底が普通の土の時に 1.30、不整形をなす場合に 1.75 といふ數で與へられる。

問題にしてゐる地域の傾斜を地圖上で讀み、大體 0.04 とし、 $\gamma = 1.30$ 、 $V_m = 1.5$  (m/sec) を入れれば

$$R = 7.8 \text{ m}$$

となる。これは勿論、水流の有効半径と言ふべきである。これで、 $V_m$  と  $R$  とが判つたから、住吉川が、山地から平地へ出る出口における毎時の流出量を推算してみると

$$\begin{aligned} \text{流出量} &= \pi \times (7.8)^2 \times 1.5 \times 3600 \text{ (m}^3\text{)} \\ &= 1.04 \times 10^6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

となる。

一方において、7月3日以来の降雨量の神戸における記録は、5日午前8時までに約 280 mm となり、その後4時間の間に 179 mm となつてゐる。<sup>5)</sup> この最後の4時間の毎時の平均雨量は約 45 mm である。これだけの雨が、全部水流となつて、1時間の間に住吉川に流出したとすれば、その容積は、住吉川に水を供給する地域の面積が約  $11.6 \times 10^6 \text{ m}^2$  であるから。<sup>6)</sup>

$$\begin{aligned} &0.045 \times 11.6 \times 10^6 \text{ (m}^3\text{)} \\ &= 0.52 \times 10^6 \text{ (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

となり、前述の流出量の約 1/2 ではあるが、略々同等の容積となる。

六甲附近の様に急傾斜の山地では、雨が土中に浸透することも比較的少なく、又、降雨は7月3日以来のことであつて、山地には已に多量の水があるとすれば、流水量の最大時には、その時の雨量以上に上ることもあり得るかもしれない。他方、斯様に多くの假定と略算との結果得た數字としては、寧ろ一致してゐると言へる。

3. 7月5日の“水害”の主要部分をなす流出土砂の源は、山地の崩壊によつて生じたものであることは言ふまでもない。山地の崩壊は必ずしも一時に起つたとは考へられないといふことは、土砂の流出は何回かに行はれ、全部の土砂が一時に市街地に流

4) RUDZKI, *Physik der Erde*, s. 466.

5) 災害科學研究所報告 1 前掲.

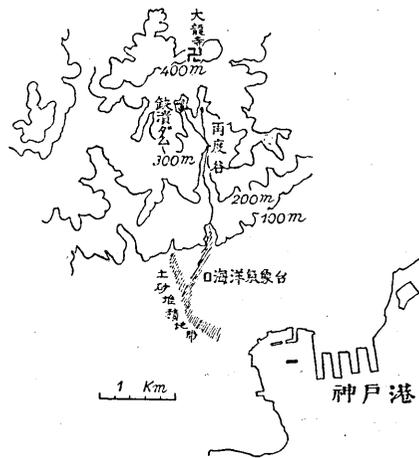
6) 5 萬分の 1 の地形圖上で測る.

出して来たのではない様であるといふことから推定される。

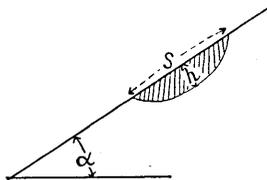
又單に山腹の土砂が崩壊集積したのみではなく、例へば、神戸海洋氣象臺北側の谷に流出した土砂の如きは、再度谷奥の貯水池の土堰堤決潰によるものが主である。この谷の兩岸の傾斜面には崩壊の痕跡が無數にある。是等の崩壊によつて供給された土砂の量も勿論少なくないと思はれるが、また、谷の中に取残されて谷の一部を埋めた土砂の量も少なくない。然るに、谷の奥にあたる一貯水池の決潰による土砂の量は、是等の多數の崩壊による土砂の量に匹敵するか、或はそれ以上かとも思はれる程である。第9圖は、その土堰堤決潰の跡を谷の下流から撮影したものである。堰堤の高さは約 20 m 表面における長さ 30~40 m、底面における幅も 20~30 位と推定される。この堰堤が全く形體を止めない許りでなく、この貯水池の底に沈澱してゐた土砂が、同時に流出したのである。沈澱してゐた土砂の流出した部分の Dimension は、面積約 100 m 平方即ち  $10^4 \text{ m}^2$  厚さ約 3 m である。第9圖中  $L_1$  は平常時の水面、 $L_2$  は舊底面を示すものである。この堰堤の崩壊は、貯水池に水が増し、且つ排水口が流木等の爲にふさがれ、水が堰堤を越えて流れ出した爲めに生じたものであらうと推定されてゐる。海洋氣象臺での觀察によれば、7月5日の12時頃多量の土砂流出があつたといふことである。この土砂が、貯水池の堰堤崩壊によるものと思はれる。

第10圖は、再度山附近の地形圖である。圖上で問題の貯水池に雨水を供給する地域の廣さを測ると約  $3\sim4 \times 10^5 \text{ m}^2$  位になる。排水口の塞がつた時が不明であるけれども、これだけの地域に降つた雨が池の水位を3~4 m 上昇させるには、相當の雨量と、それ等が池に集つてくる爲に相當の時間とを要するであらう。

第11圖は、山地の崩壊狀況の一部を示したものである。場所は、再度山のドライヴウエイに沿つた、再度谷より一つ東側の谷である。



第10圖 再度山附近の地形。



第12圖

斯様な崩壊が雨によつて生ずる場合について少し考へてみよう。

第12圖の如き傾斜面があつた場合に、この傾斜面に

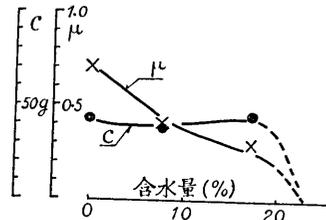
沿うて、第 12 圖の如く崩壊が生ずるとすれば、傾斜面の水平面となす角  $\alpha$  は、

$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{16}{9} \frac{s^4}{(s^2+4h^2)^2} - \frac{4c^2}{w^2/h^2}} \left\{ \frac{4}{3} \frac{s^2}{s^2+4h^2} \mu + \frac{2c}{wh} \sqrt{\frac{4c}{w^2/h^2} + \frac{16}{9} \frac{s^4}{(s^2+4h^2)^2} - \mu^2} \right\}$$

によつて與へられる。

茲で、降雨の影響は、土中に浸潤した雨水が  $\mu$  (砂粒間の摩擦) 及び  $c$  (土の凝集強度) を變へることにある。更に、土に雨水が浸透する事により、土の有効質量が増加することも考へられるであらう。土の有効質量の増加は、上式の成立つ限り、 $c$  の影響を小にする。

問題の地域においては、Colloidal の土よりも細砂程度の砂が多い様であるから、 $c$  の値は元來小さいと思はれる。従つて  $\mu$  に對する水の影響が主要なものであらう。そこで、住吉川下流の氾濫地帯に沈積した土砂を採取し、その  $\mu$ ,  $c$ , の値の含水量による變化を調べた。その結果は第 13 圖に掲げてある。 $\mu$  も  $c$  も含水量の増加と共に減少する傾向を示すから  $\alpha$  の値も亦小さくなる傾向にある。 $\alpha$  が小さくなるといふことは、斜面の傾度の定つた場所では崩れ易くなるといふことを意味するわけである。又、實驗に供した土砂は含水量が 22.8% 以上に達すれば流動する。即ち容積比で水がその砂との割合が 3:4 になる程度含まれるか或はそれ以上の水が含まれるに至れば流動するに至るものと思つてよいことになる。



第 13 圖 含水量の變化に伴ふ  $c, \mu$  の變化。

要するに、この場合の土砂の流れの、從來山津浪といふ概念の下に理解してゐた現象とやゝ異なる點は、後者が、“水を含んだ土砂流” と言ふべき性質のものであるに對し、前者が、“多量の土砂を含んだ水流” といふ様な性質を持つてゐたところに在るやうに思はれる。即ち、土砂流によつて破壊し去られた家屋よりも土砂が詰め込まれた家屋の多いことが、よくその性質を示してゐるもののやうである。尙、山地の崩壊に對して所謂砂防工事が幾分か役立つてゐることの 1 例として第 14 圖を掲げた。斯様な砂防工事が常に役立つとは言へないかもしれないが、附近に松林地帯があり、その松林地帯が滑落してゐるのに對して、この砂防工事を施した部分が残つてゐるといふことは事實である。

併し、この 1 例を以て植林が、山地崩壊防止、並に下流の災害防止に有效であると

か無効であるといふことも一概には断定し得ないであらう。山地を構成する地質、地形、並びに植林すべき樹種、植林の方法等の具體的な事情によつて定まることと思はれる。

以上は、兵庫縣下の降雨に伴ふ流出土砂の災害につき、1~2 見聞した所を報告し筆者の見解を略述したものである。今後の研究資料として記録に止める次第である。

現地の見學に際し、海洋氣象臺の堀口博士及び棚橋氏より御示教を賜はつたことに對して深く感謝の意を表する。

54. *The Landslides in Hyōgo Prefecture that accompanied the Heavy Rain of July 5, 1938.*

By Naomi MIYABE,

Earthquake Research Institute.

In the early part of July, 1938, the Kwansai district was the scene of heavy and long-continued rains. The precipitation in Kobe during 8 h~12 h, on 5th of July, was reported to be 179 mm, the total precipitation during July 3~July 5 being 440 mm. Many landslides occurred on the slopes of Mt. Rokkō and the debris washed down to the cities at the foot of the mountains, destroyed, buried, or inundated a large number of houses. As many as 1000 or more casualties were also reported.

The writer here first attempts to estimate roughly the velocity of the water that rushed down a valley in the mountains, carrying the debris down to the flat country at its foot. The estimation of the velocity is based on the distribution of deposits along the Sumiyosi-gawa (river).

The distribution of the debris along the Sumiyosi-gawa (river) is shown in Fig. 7. In the neighbourhood of the mouth of the valley in the upper course of the Sumiyosi-gawa, pebbles of large size abund, as shown in photographs of Figs. 5~6, the size of the pebbles being 10~30 cm in diameter. By applying Sainjan's result, the velocity of the flow of water at the mouth of the valley on the upper course of the Sumiyosi-gawa was estimated from the size of the pebbles distributed there in great abundance, to be about 1.50 m/sec. By applying the effective radius of the flow, 7.8 m, deduced by using Gravelius's formula, the amount of water discharged per hour was then estimated to be  $1.04 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

On the other hand, the extent of the area, from which the precipitation would flow into the Sumiyosi-gawa was estimated from a topographic map to be  $11.6 \times 10^6$  m<sup>2</sup>, the rate of precipitation per hour in Kōbe during 8 h~12 h of July 5 being 45 mm. Although the rate of precipitation in Kōbe might not have been the same as that in the mountaneous region, the hourly precipitation in the area mentioned above was assumed to be the same as that of Kōbe, whence the volume of hourly precipitation in the entire area mentioned above works out to  $0.045$  (m)  $\times 11.6 \times 10^6$  (m<sup>2</sup>)  $\approx 0.5 \times 10^6$  (m<sup>3</sup>), which approximately equals to the quantity discharged estimated from the distribution of the debris.

Next, the writer measured the values of  $c$  (cohesion) and  $\mu$  ( $=\tan\theta$ , where  $\theta$  is an angle of repose) of the soil deposited in the flooded area. The results show, as in Fig. 13, that an

increase of the water content causes a decrease in the value of  $\mu$ , and that the value of  $c$  is approximately constant over a wide range of the water content. At the flow-limit of the soil, the water content is 22.86%, at which the values of  $c$  and  $\mu$  may become zero. The effect of rain on the physical properties of soil is chiefly to reduce the value of  $\mu$ , though rain water cannot easily penetrate the soil when the latter forms a steep slope. It may also be noted that increase in water content also causes an increase in the apparent specific weight of the soil, which reduces the effect of cohesion  $c$  of the soil.

The critical angle for slide of the slope is given by

$$\tan \alpha = \frac{1}{\frac{16}{9} \frac{s^4}{(s^2 + 4h^2)^2} - \frac{4c^2}{w^2h^2}} \left\{ \frac{4}{3} \frac{s^2}{(s^2 + 4h^2)} \mu + \frac{2c}{wh} \sqrt{\frac{4c^2}{w^2h^2} + \frac{16}{9} \frac{s^4}{(s^2 + 4h^2)^2} - \mu^2} \right\},$$

where  $s$ ,  $h$ ,  $w$  are respectively the length of the sliding area, the maximum thickness of the sliding volume, and the apparent specific weight (see Fig. 12).

Since the effect of the rain is to reduce the value of  $\mu$ , and to increase  $w$ , it also reduces the critical angle  $\alpha$  of the slope for slide, whence it follows that heavy rain sometimes causes landslides.

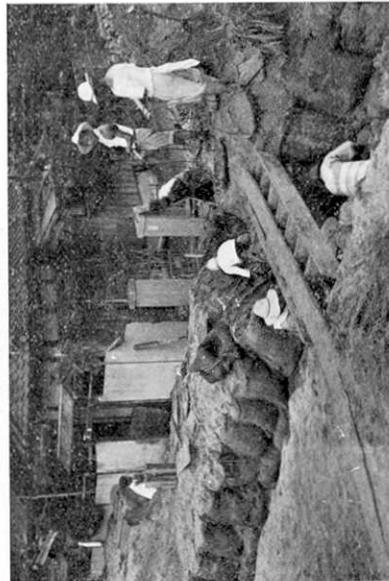
Many of the landslides that occurred on July 5, 1938, in Hyōgo prefecture, might have been caused in this way.



第1圖 阪神電鐵住吉驛附近の土砂堆積.



第3圖 阪神國道(住吉川西約100m)にある埋没家屋.



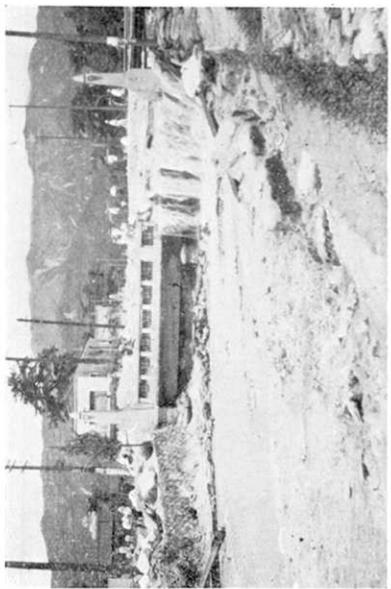
第2圖 同上



第4圖 住吉川西約500m、國道南側住宅地域内の土砂堆積.



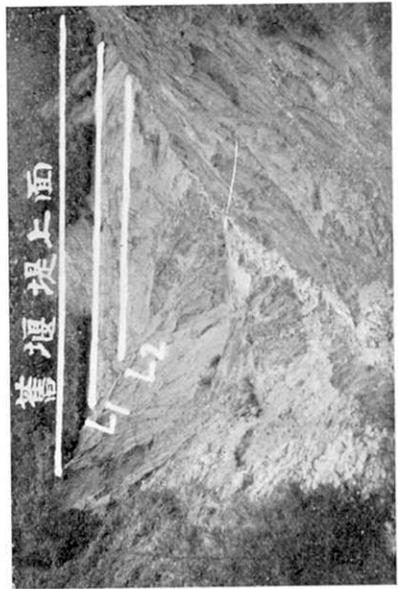
第5圖 住吉川上流阪急電鐵北側の礫の堆積.



第8圖 阪神國道，住吉川附近（流は住吉川）.



第6圖 同 上



第9圖 神戸北側再度谷面の貯水池壘堤決潰の跡，  
 $I_1$ : 常時水面，  
 $I_2$ : 常時池底面.



第11圖 山地崩壊の1例.



第14圖 砂防工事の1例.