

1 はじめに

アルプスの荒廃渓流をかかえるスイスでは、流域別に土砂害発生の危険度合を判定しようとする試みがなされており、流域の保全計画・対策に関わる政府役人及び民間技術者を対象に、毎年、現地研修が実施されている。昨年の10月には扇状地の危険度判定に関する3日間の研修がベルナーオーバーランド地方で開かれた。この研修に参加する機会を得たので、判定の手法などについて報告する。

2 判定の手順と流域概要

流域の保全計画を立てるにあたって、まず災害の実態と履歴ならびに流況を診断(Diagnose)し、将来における被害の予測(Prognose)をおこなうことから、流域の危険度合を判定するという考え方である¹⁾。すなわち、現地踏査により流域の現状を把握し、各種の土砂生産源を地図上に落とすことから始まり、水文・水理量の算出、生産及び流出土砂量の推定、氾濫域の想定に至る解析手順である。

研修の対象となった流域は、グリンデルバルトの対岸にて黒リュチーネ川に注ぐ流域面積13.1km²、流路長7.4km、山間流域の渓床勾配22.2%のベルグスタールバッハで、本川との合流地点付近には0.2km²の扇状地が形成されている。地質的には泥灰岩質頁岩、苦灰岩、石灰岩、フリッシュなどで構成され、流域の約25%が林地、50%が放牧地でそれぞれ占められている。扇状地にはホテルやキャンプ場が存在し、1920年代に流路工が施工されている。

3 ハイドログラフの作成

流域を分割して、遅滞係数、斜面長、平均斜面勾配、分割小流域別の流出係数などを使って流入時間及び到達時間を算出し、地域毎にまとめられた時間別確率降雨強度曲線から到達時間内の雨量強度を求め、合理式で100年確率のピーク流量が得られた。また、勾配別流出係数(ψ)と地域係数(α)を使用したMelli-Mueller式($Q_{max} = \psi \cdot \alpha \cdot E^{2/3}$)で求めたピーク流量と比較し、これらの値から洪水面ハイドログラフが作成された。

4 土砂の生産と流出についての解析

渓床・渓岸を踏査して、地すべり地、クリーブ地、渓床堆積地などの位置を図上に落とし、湧水地点や流木等による河道閉塞地点など、将来、生産源になり得る個所が検討された。踏査の後、不安定土砂量を推定し、流域の土砂生産源の図化作業を行なった。次に、不安定土砂量の推定結果をもとに洪水痕跡も考慮して、扇状地までの流出土砂量が現地討論の末、算定された。また、流域規模に応じた100年確率の流出土砂量が図-1のようにまとめられており²⁾、この図から読みとった対象流域の流出土砂量(VG)が算定量と比較された。いっぽう、流速、土砂濃度、単位流量に関する下記のSmart/

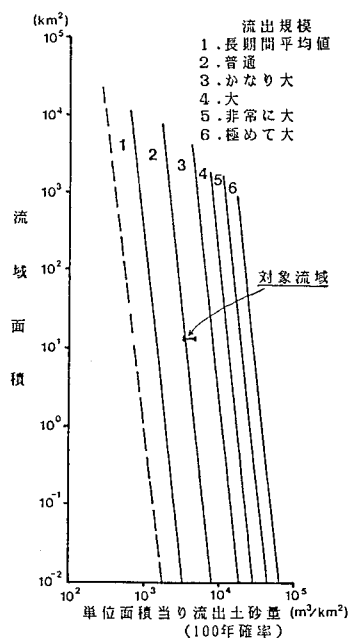


図-1 流域規模と流出土砂量

た100年確率の流出土砂量が図-1のようにまとめられており²⁾、この図から読みとった対象流域の流出土砂量(VG)が算定量と比較された。いっぽう、流速、土砂濃度、単位流量に関する下記のSmart/

Jaeggi式³⁾を使って土砂流出量を計算し、洪水ハイドログラフの波形に対応させて総流出土砂量を求め、これらの値を比べて、最終的には $50,000\text{m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{洪水時})$ の値が採用された。

$$Vw = 2.5 (g \cdot hm \cdot J)^{0.5} (1 - \exp(-0.05Z_{90}/J^{0.5}))^{0.5} \ln(8.2Z_{90})$$

$$q^* = \frac{4}{(S-1)} (d_{90}/d_{50})^{0.2} J^{1.6} \cdot (1 - \theta_{cr} J / \theta)$$

$$qr = Vw \cdot Rb [1 - 1.41 (q^* / ((S-1) \cdot g \cdot d_m^3)^{0.5})^{0.18} J^{1.14}]$$

$$Qb = bs \cdot qr \cdot q^*$$

ただし、 Vw :平均流速(m/s)、 $g=9.81\text{m/s}^2$ 、 hm :土砂混入時の流出高(m)、 J :エネルギー勾配、 Z_{90} :90%粒径に関連した相対粗度、 q^* :土砂濃度、 S :土砂の相対密度、 d_{90}, d_m, d_{50} :土砂の90%、平均及び30%粒径(m)、 $\theta_{cr}J$:限界シールズ数の修正値、 θ :シールズ数、 qr :単位面積当りの減速流量(m^2/s)、 Rb :流心部の径深(m)、 Qb :土砂流出量(m^3/s)、 bs :流路底幅である。

扇状地の流路縦横断面形状、扇状地と山間域での堆積土砂の粒度分布などの測定結果を用いて、上記のSmart/Jaeggi式から流量に応じた土砂運搬能力(=土砂流出量、 Qb)と土砂混入時の流出高(hm)を求め、扇状地での現流路断面と比較して、溢流危険箇所が検討された。その結果、図-2に示すように扇頂部付近で溢流する危険性が高いとの結論に達した。

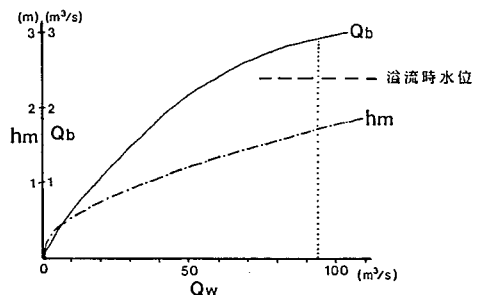


図-2 扇頂部付近での溢流時水位と Qb, hm

5 危険域の想定

扇状地の微地形、特に過去の氾濫堆積地形、流路痕跡、叢林の分布などの調査結果と扇状地への流出土砂量の推定ならびに溢流危険箇所の検討結果より、氾濫想定域を線引きし、現存の家屋や家畜小屋の築造年代、過去の災害規模も参考にして、図-3に示す危険域想定図が作成された。

6 おわりに

オーストリアと異なり、危険域想定図の作成がただちに土地利用等の規制に法的根拠を与えるわけではなく、規制には政治的な判断が大きく反映している。なお、酸性雨による森林被害はスイスでもアルプス山地を中心に増大しており、それに伴って対象流域では洪水のピーク流量が約13%増大すると予想されている。

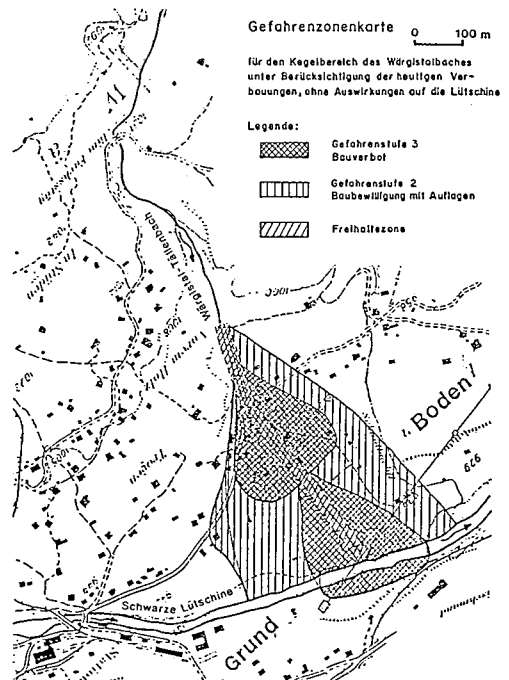


図-3 扇状地の危険域想定図

参考文献

- 1) Zeller, J.: Proc. Int. Symp. E.D.F.P. (Tsukuba), pp. 7-21, 1985
- 2) Zeller, J.: Wasser-Energie-Luft, Vol. 77, pp. 246-251, 1985
- 3) Smart, G.M., Jaeggi, M.: Mitt. VAW/ETHZ, Nr. 64, 1983