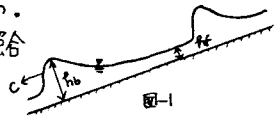


鹿児島工業高等専門学校 正員 ○足田 誠
九州大学工学部 正員 橋本一郎・学生員 末次忠司
鹿児島県砂防課 宮崎十三

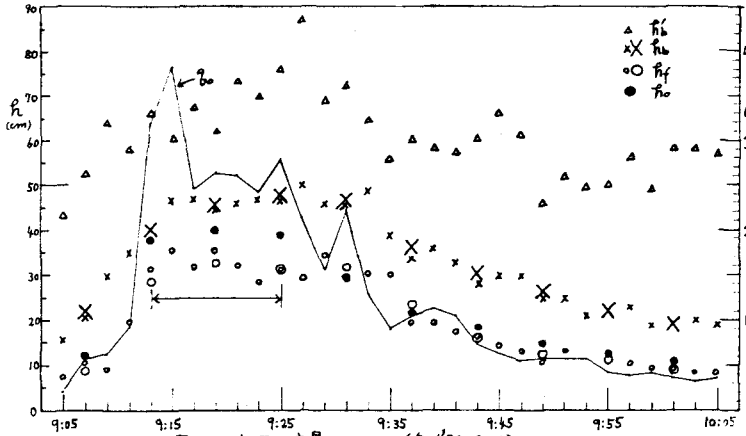
長谷川は桜島北岳に源を発する流域面積1.35 km²(流路Iより上流)の急流河川で、古くから土石流の多発地として知られている。昭和53年には、鹿児島県砂防課により長谷川の流路IにV.T.Rが設置され、54年には種々の改良を加えて9個の土石流が撮影されたが、停電のためタイマーが作動しない記録が多かった。そのため55年には電源をバッテリー方式に改め、かなりの土石流が撮影されたが、両年における土石流の規模は小さく、その動態を把握するには十分でない。しかし、長谷川の土石流においてはかなり明瞭な乾波列が発生しており、乾波の周期6~11秒のうち0.1~1秒程度の乾波front部が通過するときの水深 h_0 は、平均水深 h_0 あるいは後続部の水深 h_f にくらべてかなり大きい。さらに、フロントではSurface rollerや流水中に含む大粒径の岩塊との干渉のため、規模の大きいしづきを伴う。それを含めた水深 h_0 はさらに大きい。本文では、長谷川の乾波列の特徴について記述し、岩垣らによる乾波列の理論と照合しながら若干の考察を加える。



長谷川の土石流と乾波列の特徴

土石流撮影のため、長谷川の流路I(底面幅8m、法勾配1:1、流路勾配0.070のコンクリートバリ)に設置されたV.T.Rシステムは、カラーV.T.Rカメラ(1時間とり)と高感度の白黒カメラ(6時間とり)が併置され、上述のセンサー切断と同時に照明灯が付き、両V.T.Rが作動し前面の流路Iを流れる土石流が撮影されるとともに、1/100秒ごとの時刻が記入される。これらの記録から、水位、乾波列の波速・周期が測定され、昼間時の記録から土石流中の礫速度が測定される。

以下、両年に発生した最大規模の土石流である54年6月18日(M-1)、55年9月11日(M-2)の土石流乾波について考察することにし、後者の水深時間を図-2に示す。国中には2分ごとに測定された h_0 、 h_0 および h_f の時間的変化が示されており、国中の大きいX、○印は隣接する3つの測定値の平均である。また、●は乾波列理論から計算したX、○に対応する平均水深 h_0 であり、国中の実線は単位幅流量 q_0 の計算結果である。同時に、土石流中における礫の速度 U_g 、乾波列の波速Cおよび周期Tを測定した。なお、土石流の乾波が到着した後の最盛期では、流送される h_0 程度の岩塊による水面動揺が著るしいため、乾波列のよみとりは困難で、精度は低下して11る。



国-3は U_g と h_0 および流速係数 $\varphi = U_g / \sqrt{g h_0 \sin \theta}$ と h_0 との関係を示したもので、 φ は水深 h_0 に無関係にはほぼ $\varphi \approx 12$ 程度の値となる。この値は野尻川の流路Iにおける平均値 $\varphi \approx 12.3$ と同程度である。国-4は乾波列の波速Cとそれを無次元化した $C / (\varphi \cdot g \cdot \sin \theta)^{1/2}$ と h_0 との関係をプロットし

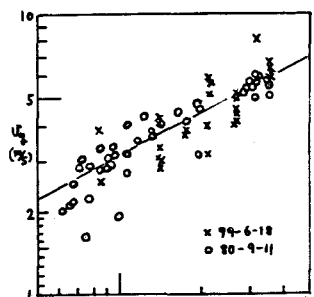


図-3 土石流の流速

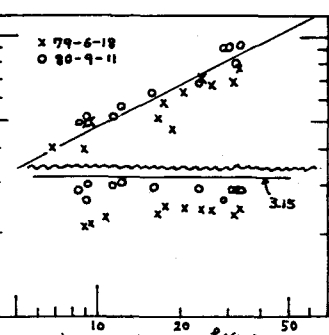
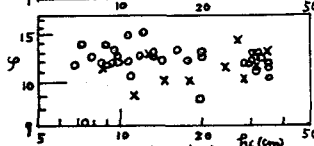


図-4 乾波列の流速

たものである。Cは $\sqrt{g \cdot h \cdot \sin \theta}$ に従って h にほぼ比例する。(M-1)および(M-2)によって若干異なり、それぞれの平均のC/ $(g \cdot h \cdot \sin \theta)^{1/2}$ の値は2.4, 2.9の程度である。

図-5には、C, Tの測定値を用い無次元化された周期 $(T \cdot g \cdot \sin \theta / C^2) \tan \theta$ を示した。 $h \geq 30 \text{ cm}$ では、測定精度が低いことを考慮すると、その値は0.6~1.0の程度である。図-6は R_f/R_b の測定値を示したものである。

乾波列の検討 岩垣らは乾波列のつた移動座標系を用いて定常化した水面形方程式と跳水条件式を用い、乾波列の特性を巧みに解明しているので、以下この解法を長谷川の土石流に適用して若干の考察を行なう。前述したように長谷川では $\varphi = 12.3$ 、流路勾配0.07、フルード数 $Fr = \varphi I = 3.25$ であるから、このときの水面形方程式は積分される。解析に必要な諸式をあげると α を運動量補正係数として次のようである。進行流量 $Q = \sqrt{\frac{1}{2} g \cdot h_0 \cdot (R_f + R_b) R_f R_b}$ (1)、平均流速 $U/C = \frac{\alpha - \sqrt{\alpha(\alpha-1) + 1/Fr^2}}{\alpha - (1/Fr^2)} = F$ (2)、平均水深 $H_0 = g \cdot h_0 \cdot \omega / C^2 = \frac{1}{Fr^2} F^2$ (3)、単位幅流量 $Q = g \cdot h_0 \cdot \omega / C^3 = \frac{1}{Fr^2} F^2$ (4)、 $K = k \cdot g \cdot \omega / C^3 = \frac{1}{Fr^2} (1-F)^2$ (5)、乾波列の発生条件 $F \geq 2/3$ (6) 式(2), (6)において、Fは α および $Fr = 3.25$ の条件下で乾波列が発生するためには、 α のとり得る値は制約があることがわかる。

さて、堆積土砂層の上を流送される土石流について、高橋による dilatant 流動式を適用すると $\alpha = 1.25$ であるが、この α では土石流は発生しない。従って、流路工のようにコンクリート床面上を流送する土石流の流れでは、底面に slip velocity が存在するため、 α は純水の場合と同様の $\alpha = 1.05$ 程度の値をとるものと考えられる。このように α, Fr がきまると、式(3), (4)より R_b, R_o がCの測定値を用いて求められ、(M-2)におけるhydrographは図-2に示したようになる。つぎに、 $R_f/R_b = H_f, R_o/R_b = H_0$ および無次元波長 $\lambda = \lambda \cdot \tan \theta / R_b$ は跳水条件式を書きかえた次式 $K/H_0^{3/2} = \sqrt{\frac{1}{2} (H_f + H_0) H_f H_0}$ (7)と不等流水面形を積分して適当に境界条件を入れた次の関係 $\lambda = f(H_f, H_0)$ (8)から決められる。(式形は省略) 式(3), (5), (7)を用いて H_0 と H_f との関係を求め式(8)から λ を H_f の関数として求めた結果を図-8に示した。図には、(M-2)の実測結果もプロットされており、大略の傾向としては一致しているが、明らかに不合理な $H_f \geq 1$ の測定値と現われているので、今後検討すべき多くの問題が残されている。しかし乍ら、急勾配の固定床流路Iにおいては一般に乾波列が存在し、長谷川では H_0 の値が1.75程度にも達することが注目される。参考文献：1)岩垣・岩佐：乾波列の物理学的特性，土木学会誌40-1，昭30，2)高橋：土石流の発生と流動に関する研究，京都大学防災研究所年報，第20号B，昭52

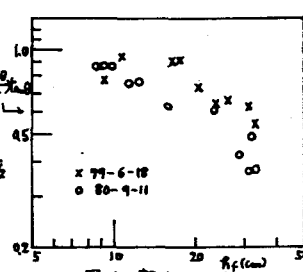


図-5 乾波列の周期

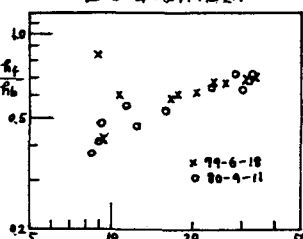


図-6 Rf/Rbの測定値

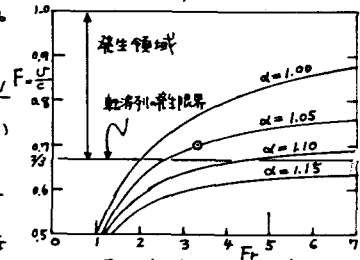


図-7 乾波列の発生条件

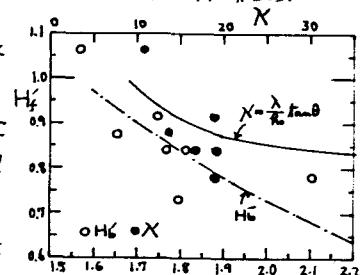


図-8 平均水深と波長