

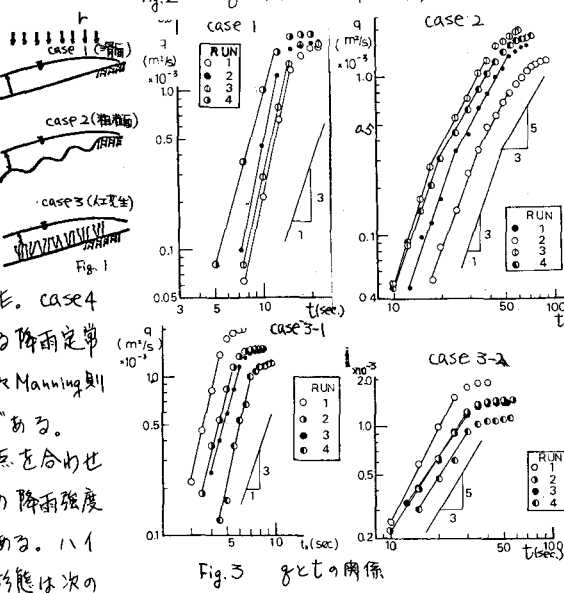
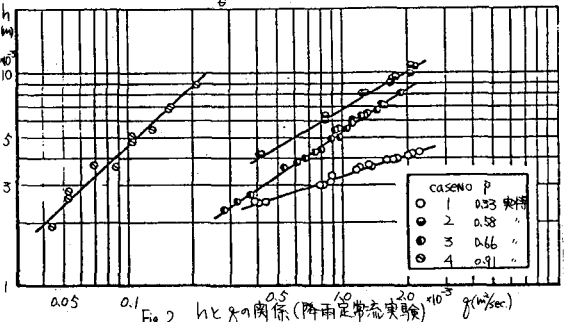
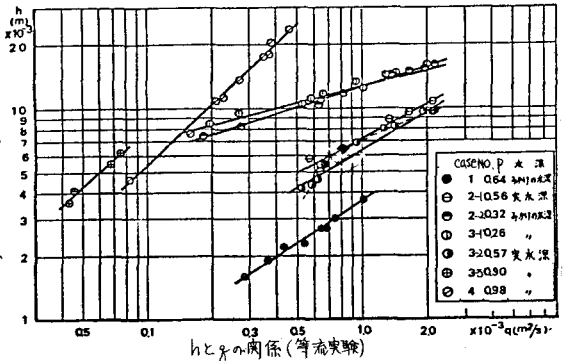
1. はじめに 本報告では、斜面雨水流の流水抵抗を水文学的な視点に立って評価し、それを踏まえて出水解析および流入量形状の予測を試みた。Fig.1は想定モデルの模式図である。

2. 想定モデルでの抵抗則 流水抵抗の水文学的な評価の指標としては、指数型を仮定した流れの基礎式の指数項 P を採用した。すなわち、近似的に等流と同型式の表現が許されるものとする。いま問題にしている

定数 P は流れの状態に応じて次の様な意味を持つ。層流型式： $P=\frac{1}{3}$ ，Manning 型式： $P=\frac{3}{5}$ ，Chezy 型式： $P=\frac{2}{3}$ ，Darcy 型式： $P=1$ 。Fig.2は各ケースでの等流実験および降雨定常流実験で測定された水深と流量を両対数線上にプロットしたものである。前述の P 値を指標として流れの状態を評価すると次のようになる。case1では水路上面端からの一定放流量が水路床全面に、均一に流下しないで水みちの流れの態相を呈しているのに、水路床面積で除しているために平均水深は一般流のそれであるがのように扱われ、流れの態相は乱流と評価された。case2では実平均水深で(case2-1)乱流、みかけの平均水深(case2-2)で層流の態相を表す。case3は人工芝を敷いた場合であり、放流量の多寡により3つに区分して検討した。すなわち、case3-1の混合流ではほぼ層流に近い態相を表す。case3-2の芝生面上の流れは、放流量が小さい段階では点線で示した様に P 値はほぼ1を示し、放流量を増すと0.40を示し層流に近似的な態相を表す。

この事は、芝生高を越えればかりの水深が小さい状態では、芝生高の不整有および粗度要素の影響を強く受けて流れも均一な流れの延長上にあり、しだいに水深が増してくるとこれらの影響は軽減するが、未だ、水みちの流れの特性が残存していることを意味する。しかし、工学的実用性を見地からは、実線で示したように一般流とみなして乱流の態相として評価した。case4はDarcy則に従うようである。一方、各ケースにおける降雨定常流での態相は、case1では層流則、case2、3では各々Manning則およびChezy則、また、case4はDarcy則に従うようである。

次に、実験ハイドログラフを構成している流れに焦点を合わせて流れの態相を調べる。Fig.3は各ケースにおける種々の降雨強度での q と t の関係を両対数線上にプロットした一例である。ハイドログラフのこう配から判断して各ケースでの流れの態相は次の



様である。case 1 は RUN NO 1~4 の降雨強度約 650mm/hr から 800mm/hr の範囲で試行した例であり、ハイドログラフの立上り部付近はほぼ層流で、流れが全面に一樣に流れるようになる乱流へと移行する傾向にある。case 2 は RUN NO 1~4 の降雨強度約 600mm/hr から 700mm/hr の範囲で試行した例である。このケースでは、ハイドログラフの立上り部付近に急激な変曲点が生じており、これは流出形態が層流から乱流へと移行していることを意味している。case 3 は人工芝の場合で、RUN NO 1~4 の降雨強度約 400mm/hr から 670mm/hr の範囲で試行した例である。case 3-1 の混合流の場合には層流に近い形態を表わし、case 3-2 の芝生面上の流れは乱流の形態を表わす。case 4 は利剣を敷いた場合で、(ここでは図示していないが)顕著な中回流の形態を表わしている。以上、定常流および非定常流での抵抗則について考察を進めて来たが、次の様に要約される。case 1 では層流則、case 2, 3 は乱流則、case 4 は Darcy 則に従うようである。

3. 抵抗則の立証 求められた斜面上の流水の抵抗則を雨水流モデルに適用して出水解析を行い、その再現性を調べた。再現性の評価は次式の相対誤差で行なう。すなわち、 $E = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{Q_o - Q_c}{Q_o} \right|$ ① ここに、 Q_o : 観測流量、 Q_c : 計算流量、 n : 誤差評価の対象個数 Fig. 4 に case 2, 3 の数値シミュレーション結果の一例を示した。図中の白丸は等流実験、黒丸は降雨定常流実験で得られた抵抗則を適用してシミュレートした結果を示している。case 2, 3 とともに相対誤差が 5% 以内におさまることから判断して、再現性は良好と考えられる。この事は、斜面上の流れは一樣流とみなし等流の抵抗則で近似できることを示唆している。

4. 流入量波形予測式およびその検証 予測式の構築を簡単に述べる。斜面上の流水を等流形式の抵抗則で近似できるものとする。 $h = R \cdot g^p$ ② $\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial x}{\partial t} = R_2$ ③ ここに、 h : 水深、 R_2 : 有効降雨強度、 R , p : 定数 特性曲線上において、 $R_2 \neq 0$ のとき $R_2 dt = R \cdot g^{p-1} dg$ $R_2 dx = dg$ ④ $R_2 = 0$ のとき $\frac{dg}{dt} = \frac{R \cdot p}{R_2} = \text{一定}$ ⑤ 上昇期: いま $R_2 = \text{一定}$ とすると斜面上の伝播時間は $t_p = \frac{R \cdot p}{R_2}$ ⑥ g は斜面下流端で最大になる。このときの g を g_p と書くとき $t_p = \frac{R \cdot p}{R_2} = \frac{g_p}{R_2}$ ⑦ ④① 式より $\frac{t_p}{R_2} = \left(\frac{g_p}{R_2} \right)^p$ ⑧ 低減期: $R_2 = 0$ のときは、特性曲線 $\frac{dg}{dt} = \frac{R \cdot p}{R_2}$ 上において $g = \text{一定}$ であるから $L - x = \frac{R \cdot p}{R_2} t_d$ ⑨ ①, ④式より $\frac{t_d}{R_2} = p \cdot \frac{1 - \frac{R_2}{R_2}}{\left(\frac{R_2}{R_2} \right)^{p+1}} = p \cdot \frac{1 - \frac{R_2}{R_2}}{\left(\frac{R_2}{R_2} \right)^{p+1}}$ 従って、流入量波形予測式は次の様になる。上昇側: $\frac{t_p}{R_2} = \frac{1 - \left(\frac{R_2}{R_2} \right)^p}{\left(\frac{R_2}{R_2} \right)^{p+1}}$ 低減側: $\frac{t_d}{R_2} = p \cdot \frac{1 - \left(\frac{R_2}{R_2} \right)^p}{\left(\frac{R_2}{R_2} \right)^{p+1}}$ ここに、 t_p : ハイドログラフ立上りからの時間、 t_d : ハイドログラフピークからの時間、 t_p : 洪水到達時間、 g_p : 洪水ピーク流量、 p : 定数、 R : 斜面定数 上式を case 1, 2 に適用した結果の一例が Fig. 5 である。図から判断して、流水の抵抗則を適格に把握すれば流入量波形の予測は可能である。

5. あじぎさ 斜面上の流水の抵抗則は水文学的な評価でも十分可能であること、流れは一樣流とみなし等流の抵抗則で近似できること、流入量波形の予測が可能であることが明らかにされた。最後に、終始御指導下さった京都大学角屋睦教授に感謝致します。

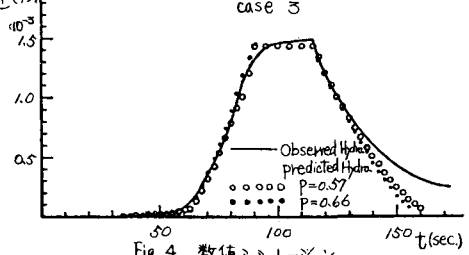
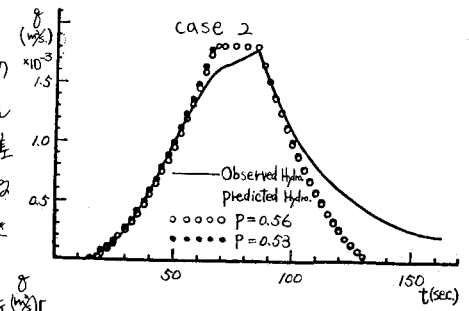


Fig. 4 数値シミュレーション

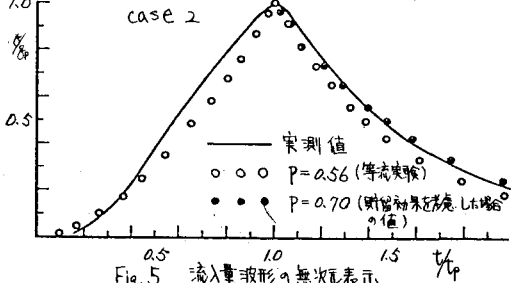
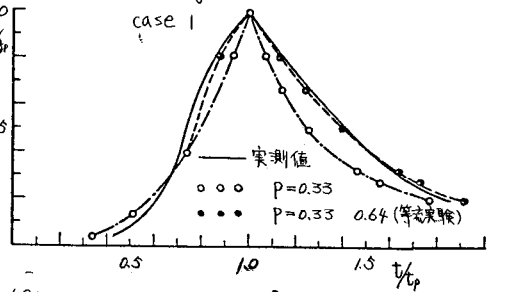


Fig. 5 流入量波形の無次元表示