

電力中央研究所 正会員 河西 基
 東京大学工学部 " 玉井 信行
 (株) 電源開発 大西 真弘

1. はじめに: 従来, 分・合流部における水理学的特性に関しては板倉¹⁾, 神田²⁾等の研究があるが, 機構を十分に解明するまでには至らないのが現状である。一方, 分・合流部における通常の一次元解析手法に基づく洪水追跡計算も, 特に非定常流に関してはあまりその例が無く, 秋元³⁾, Yen⁴⁾は特殊なケースについての計算例を示している。しかしながら, 多くの場合上・下流の水位一定という仮定を用いており, 充分な解析手法は確立されていない。本論文においては, 通常の河道流の定式化でよく用いられる支配体積(control volume)の概念⁵⁾に基づいて分・合流部での流れをモデル化した解析手法を提案し, 実験結果との比較によりその適用性を検討した。

2. 理論的考察: まず, 流れの場は非圧縮性流体で静水圧分布を仮定する。図-1には合流部における支配体積の概念モデルを示したが, このような支配体積に対する力のつり合いから, 分・合流部における運動量方程式と連続方程式がそれぞれ次のように導かれる。

運動量方程式

$$\begin{aligned} & \text{①方向;} \quad \frac{\gamma}{2} (h_1^2 B_1 \cos^2 \theta_{1V} \cos \theta_{1L} + h_2^2 B_2 \cos^2 \theta_{2V} \cos \theta_{2L} + h_3^2 B_3 \cos^2 \theta_3) \\ & \quad - \tau_0 \cos \theta_M [S + h \{ 2L_L - (L_1 + 2L_{11}) \cos \theta_{p1} - (L_2 + 2L_{22}) \cos \theta_{p2} \}] \\ & \quad \pm \frac{\gamma}{2} h_1^2 (L_1 \sin \theta_{p1} + L_2 \sin \theta_{p2}) + \gamma S h \cos \theta_M \sin \theta_M \\ & \quad - \beta S (h_1 V_1^2 B_1 \cos \theta_{1V} \cos \theta_{1L} + h_2 V_2^2 B_2 \cos \theta_{2V} \cos \theta_{2L} + h_3 V_3^2 B_3 \cos \theta_3) \\ & \quad - \rho S \cos \theta_M \partial(Vh)/\partial t = 0 \quad \text{----- (1)} \\ & \text{②方向;} \quad \frac{\gamma}{2} (h_1^2 B_1 \cos^2 \theta_{1V} \sin \theta_{1L} + h_2^2 B_2 \cos^2 \theta_{2V} \sin \theta_{2L}) \\ & \quad + \beta S (h_1 V_1^2 B_1 \cos \theta_{1V} \sin \theta_{1L} + h_2 V_2^2 B_2 \cos \theta_{2V} \sin \theta_{2L}) - \frac{\gamma}{2} h^2 (L_1 \cos \theta_{p1} - L_2 \cos \theta_{p2}) \\ & \quad \pm \tau_0 h \{ (L_1 + 2L_{11}) \sin \theta_{p1} \sqrt{1 - \cos^2 \theta_{p1} \sin^2 \theta_M} - (L_2 + 2L_{22}) \sin \theta_{p2} \sqrt{1 - \cos^2 \theta_{p2} \sin^2 \theta_M} \} \\ & \quad = 0 \quad \text{----- (2)} \end{aligned}$$

連続方程式 $S \frac{\partial h}{\partial t} \pm (B_3 h_3 V_3 - B_1 h_1 V_1 - B_2 h_2 V_2) = (i - f) S \text{ --- (3)}$

ここに, γ : 単位重量, h : 水深, B : 水路幅, τ_0 : 壁面平均せん断応力, S : 支配体積の上・下面積, β : 運動量補正係数, ρ : 水の密度, V : 断面平均流速, t : 時刻, i : 降雨強度, f : 浸透能であり, 他の諸元については図中を参照されたい。また, 上式中の複号は同順であって, ①の符号が合流を表わし, ②番目は分流である。

3. 計算スキーム: 分・合流部の上・下流においては特性曲線法を用いて通常の河道洪水追跡を行うこととした。図-2に示すように, 未知数は $h_1, h_2, h_3, V_1, V_2, V_3$ および支配体積内の代表水理量 h, V の計8個である。一方, 与えられる方程式は上式から3個, 各河道からの特性方程式が3個であり, 計6個となり方程式が2個足りない。そこで $h \approx (h_1 + h_2 + h_3)/3$ と近似できるとし, さらに支配体積内の適当な半分の領域内においても連続方程式が成立すると仮定した。数値シミュレーションは, 本論文で提案した方法(以下, 支配体積法と呼ぶことにする。)と, 支配体積の大きさを考慮せずに $h_1 = h_2 = h_3$ の仮定をした従来の方法について行なった。いずれの計算においても, 初期条件は不等流水面形計算を用いており, 上流側水路では常流の場合に若干の繰返し計

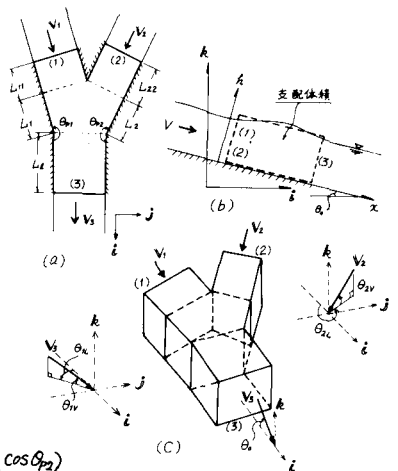


図-1 支配体積 (合流)

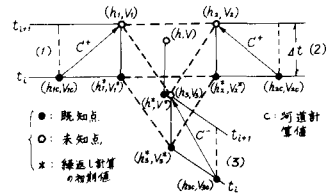


図-2 計算スキーム(合流)

算が必要となる。また、最終的に非線形連立方程式を解く際には一般化ニュートン法を用いている。

4. 結果と考察： 図-3は、電力中央研究所において行われた分・合流水路における段波実験結果と数値シミュレーションとを比較した一例である。(a)は30°合流水路に正の段波を起した場合であり、また(b)は60°

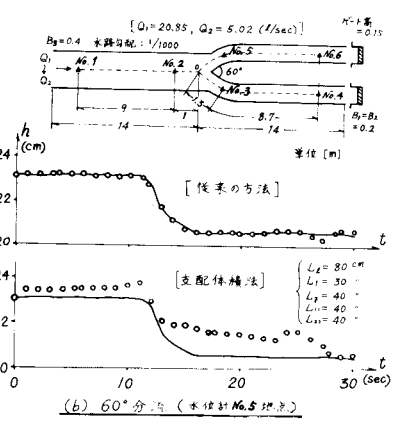
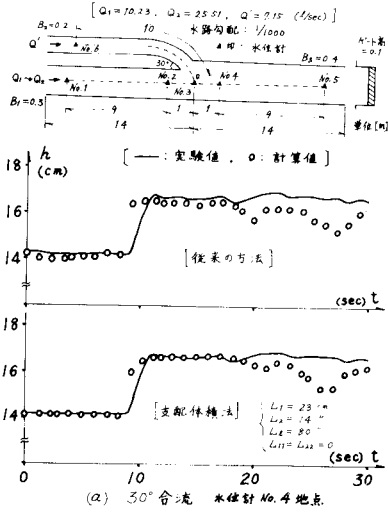


図-3 計算値と実験値の比較

分流水路に負の段波を起した場合である。(a)においては、両方法共にはほぼ近い値を示し、実験値に比べて後半部で多少のずれがある。(b)の方は、従来の方法がきわめてよい一致を示しているのに対して、支配係法による結果は初期定常状態から非定常計算へ移行する際に生ずる差異がそのまま最後まで影響しているようであり、一致性はあまりよくない。これは、非定常領域における収束計算の不充分さが主に起因していると考えられ、さらに改善する余地がある。図-4は、この収束性にも関連して、運動量方程式(1)および(2)における各項のオーダの時間的推移(段波到達時付近)を試算的に示したものである。この中で、顕著な変化が現われているのは④、⑧項あるいは⑤項である。④項は時間的慣性項であって、通常は他に比較して小さい値をとるが、段波到達時付近のみにかなり大きな値となり、決して無視し得ないことがわかる。一方、⑤、⑧項は運動量フラックスに関する項であり、段波到達により定常入力をもつB2水路端での値が抑えられた結果が現われていると思われる。収束性の向上にあたっては、収束計算手法の改良に限らず、計算例をさらに増してこのようなオーダ評価を明確にしておく必要がある。

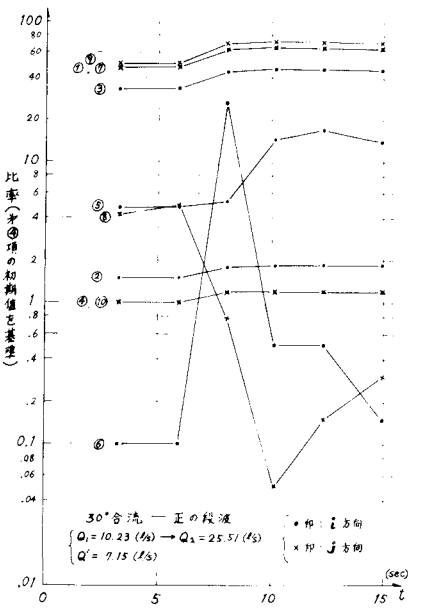


図-4 運動方程式のオーダ比較

5. あとがき： 本論文においては、従来の水位一定の仮定に依らずに、ボリュームとしての効果を考慮した支配体積の概念に基づく分・合流部に対する洪水追跡モデルを提案した。収束性等まだ不完全な問題点も残されているが、研究の端緒としてはある程度の再現性が得られたと考える。今後は、実験結果への適用例を増やすなどしてモデルの確立を行った上で、従来行われてきた分・合流部に関する多くの水理学的検討に対しても、この洪水追跡モデルが有用な新しい情報を与えることができるようにさらに研究を進展させて行きたい。

最後に、本研究を進めるにあたり、貴重な未発表のデータを提供して下さった電力中央研究所、秋元保氏と、労を惜しまず協力して戴いた河原能久氏(現、東京大学技官)の両氏に対して、ここに記して謝意を表する。

＜参考文献＞ 1) 板倉定典：河川合流点における流水の機構の研究、第16回水論、1972。2) 神田山崎：合流部の流水の水理学的特性、第32回水論、1977。3) 秋元保：開水路不定流の数値解析手法、第18回水論、1974。4) Yen, B.C. and Akan, O.: Flood routing through river junctions, 3rd Ann. Symposium of the Waterways, Harbors and Coastal Eng. Div. of ASCE, 1976。5) Engelson, P.S. Dynamic Hydrology, McGraw-Hill, New York, 1970。6) 玉川河内：河道狭窄部が洪水波形状に及ぼす影響について、第22回水論、1978。