

II-11

砕波段波に伴う流木の衝撃力に関する実験的研究

秋田大学 学生員○渡辺英祐 正員 松富英夫

1. まえがき 砕波段波に伴う流木（入射段波波高 ΔH と流木径 D は同程度）を対象に、構造物の開度 λ による見かけの質量係数 C_{Ma} と衝撃力継続時間 Δt の変化特性、 D による Δt の変化特性等について実験的検討を行い、対象流木による最大衝撃力 F_{dm} の評価方法の開発を試みる。

2. 実験 使用水路、段波発生法、衝撃力測定法等は文献1)を参照。段

表-1 段波発生条件

h_1 (m)	h_0 (m)	u_0 (m/s)
0.40, 0.45	0.02	0

表-2 流木諸元

D (cm)	L (cm)	(L/D)	W (g)
2.4~12.0	14.4~192	6.8, 12, 16	48~13780

波発生条件を表-1に示す。 h_1 は初期ゲート上流水深、 h_0 と u_0 は初期ゲート下流の水深と流速。各実験において、流木は1本のみ。

初期、流木中心軸は流れ方向に向け、ゲートからの距離 $x=2.55m$

に静置。既報の流木の挙動結果に基づき、単位幅当りで最大の衝撃力が生じ得るという判断による²⁾。 $x=2.55m$ という比較的ゲート下流に静置した理由は、段波発生法に起因する固有の水理現象をできるだけ除去するため³⁾。使用流木の諸元を表-2に示す。 L は長さ、 W は湿潤状態での重量。衝撃力測定は、既報^{1), 2), 4)}同様、 $x=5.05m$ で行った。受圧壁として、厚さ10mm、 $\lambda=2, 20, 33, 50, 70, 87\%$ の亚克力樹脂板を用いた。 $\lambda=87\%$ は波力計の鋼棒そのもの、 $\lambda=2\%$ をも除いたその他は縦スリット壁（隙間部の配置は全て同じ）で、下端は厚さ2mmの銅板で剛結。段波衝突後でも隙間部上端に水面は達しない。測定項目は全波力 F の他に、段波衝突前後の壁近傍での段波と流木の挙動、壁直前での流木の移動速度。これ等の測定にはビデオを、 F の記録にはペン・レコーダーを使用。

3. 実験の結果と考察 **3-1 流木の衝撃力** 図-1に λ による F の

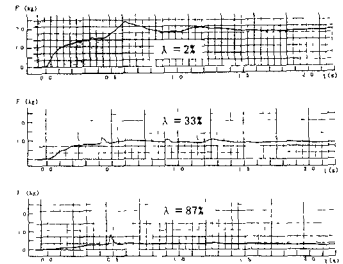
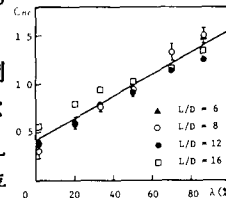


図-1($h_1=.4m, D=5.8cm, L/D=8$)

経時変化例を示す。段波先端衝突時を $t=0$ と同期。 λ 以外は同じ。 $t=0.3\sim 0.5s$ での突出部が流木衝突によるもの。図より、① $\lambda \rightarrow$ 大につれて、流木による衝撃力 F_d （図-5）は大きくなり、段波による衝撃力に比べて無視できなくなる。これは、衝突後、上方に投げ出された流体の緩衝効果の強弱による¹⁾。②ある λ で、流木衝突時と上方に投げ出された流体落下時($t \approx 0.6s$)の F が同じになる。③ある λ 以上で、 F_d が支配的となる、等が判断される。

3-2 見かけの質量係数 図-2に λ による C_{Ma} の変化例を示す。 C_{Ma} は次式で評価^{1), 2)}。 $\int F_d dt = C_{Ma} M u_w \dots (1)$ 。 t : 時間、 M : 流木湿潤時の質量、 u_w : 衝突直前での流木後端($L > 46.4cm$ の時、壁から約50cm手前での流木先端)の水平速度。流木速度として上記を選んだ理由は、①一般に、図-2($h_1=.4m, D=5.8cm$)



流れ場の平均的な水理量のみが予め与えられる。②壁の影響を受けていない、等。本来なら、壁の影響を受けた流況でのものを採用すべき。現状では、その流況や流木衝突時刻等の推定が容易でない。図中、実験値は10回の平均（以下同じ）、細長比(L/D)=8の実験値に付いたI印は標準偏差SD(他の(L/D)でも傾向は同じ)、実線は回帰曲線で、 $C_{Ma}=0.0113\lambda + 0.42 \dots (2)$ 。 λ は%。 $\lambda (=87\%)$ 、段波の強さ、(L/D)が同じ場合、 C_{Ma} は D にあまり関係しなかった。

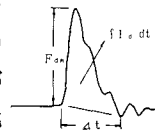


図-5

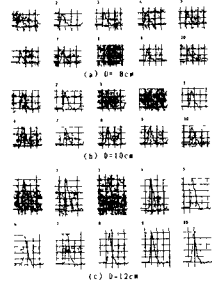
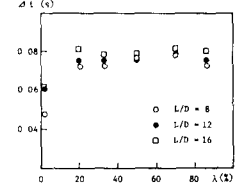


図-3($h_1=.4m, L/D=8, \lambda=87\%$)



$\lambda \approx 100\%$ の時、 C_{Ma} は本来の質量係数 C_H と解釈される。その値は約1.6で、既報値^{5), 6)}とほぼ同じ。よって、 C_{Ma} 、 C_H 、 λ の関係は、 $C_{Ma}=C_H+0.0113\lambda - 1.13 \dots (3)$ 。厳密には、式(3)の数値は勿論、 C_H も段波の強さ、(L/D)等による。後藤等の C_H 式によると⁶⁾、 $L/D=(8-20)$ による C_H の変化は高々3%程度。

3-3 衝撃力継続時間 図-3(a)、(b)、(c)に径別の F_d の時間波形例を示す。 $\lambda=87\%$ でのもので、径以外は同

じ。各波形中の小さな振動（約42Hz）は波力計の固有振動。

図-4に Δt (図-5)の λ による変化例を示す。実験値のSDは $\lambda \rightarrow$ 大につれて小さくなる傾向にあり、その値は0.001-0.008sであった。これ等の図より、① F_d の波形は三角形で近似可能。

②諸条件が同じ時、風波の場合と違い⁷⁾、 Δt はほぼ同じ値。

③ F_{dm} (図-5) $\rightarrow$ 大につれて、 Δt は長くなる。④ $\lambda \rightarrow$ 大につれて、 Δt は長くなる。但し、 $\lambda > 20\%$ でほぼ一定、等が判断される。

データの変動性等から、風波の衝撃圧でさえ、 Δt の相似則について論じた研究例はないようだ。光易⁸⁾の「Froudeの相似則が成立するだろう」という定性的な言及がある程度であろう。流木の場合は勿論のことである（流木の試験では、Froudeの相似則を用いるのが一般的ようだ⁹⁾）。しかし、

図-3から判るように、流木の場合、縦衝突などと衝突形態を決めてしまえば、その変動性は小さく、定量的検討を行い易い。 Δt を選ぶもう一つの理由は、衝撃力に比べて、測定精度に不安が少ないからである。

図-6にDによる Δt の変化例を示す。D=2.4cmの場合を除いて、SDは0.001s程度と非常に小さい。図中、1/2勾配線はFroudeの相似則、実線は回帰曲線で、 $\Delta t = 0.0570 \cdot D^{0.171} \dots (4)$ 。Dの単位はcm。図より、①流木の場合、 Δt にFroudeの相似則は成立しないようだ。②実際の (L/D) の範囲内(8-20)では、 Δt は (L/D) にあまり関係しない $((L/D) \rightarrow$ 大につれて、 $\Delta t \rightarrow$ やや大という系統的な傾向はあるが)、等が判断される。

①は、実験において、Froudeの相似則でDと共に ΔH を変えても、同じであろう。②は、流木の運動に摩擦抵抗が二次的であることを考えれば⁸⁾、想像つくことである。

Δt に影響する因子として、流体と流木の密度、 ΔH を除けば、D、L、 u_w 、重力加速度g等が考えられる。これ等の因子間で次元解析を行えば、 $u_w \Delta t / D = f(L/D, gD/u_w^2) \dots (5)$ 。図-7に $(u_w \Delta t / D)$ と (gD/u_w^2) の関係の実験結果を示す。回帰曲線は、 $u_w \Delta t / D = 0.793(gD/u_w^2)^{-0.701} \dots (6)$ 。これ等の関係も (L/D) にあまり依存しないようだ。

式(4)・(6)より、本実験での u_w として、次式が提案される。 $u_w = 235D^{-0.318} \dots (7)$ 。ここで、 u_w の単位はcm/s。式(7)による u_w と実験によるものとの比較例を図-8に示す。 Δt に比べて、 u_w は (L/D) の影響がやや目立つ。これは、 u_w が $\Delta H/D$ 等の影響も受け易いことを物語っている。式(7)に頼らず、現状では最悪の場合を想定して、 u_w に理想段波理論で計算される断面平均流速（一般に過大）を採用する方法も考えられる。

3-4 最大衝撃力 前節での考察に基づき、 F_d に関し三角形分布を仮定すると、 $F_{dm} \approx 2.0 C_H \mu u_w / \Delta t \dots (8)$ 。式(8)を式(2)・(4)・(7)を用いて書き直せば、 $F_{dm} = 0.00661 \sigma (0.0113 \lambda + 0.42) (L/D) D^{2.511} \dots (9)$ 。 σ は流木の比重、 F_{dm} の単位はkg。図-9と10に式(9)と実験結果との比較例を示す。 σ は0.6を採用。両者の適合度は良い。

D=1m、L=11m、 $\lambda=87\%$ 、 $\sigma=0.6$ の条件で、 ΔH とDが同程度の時の計算例を示す。式(2)・(4)・(7)・(8)より、 $C_H = 0.0113 \cdot 87 + 0.42 = 1.40 \dots (10)$ 、 $\Delta t = 0.0570 \cdot 100^{0.171} = 0.125 \dots (11)$ 、 $u_w = 235 \cdot 100^{-0.318} = 54.3 \text{ cm/s} \dots (12)$ 、 $F_{dm} = 2 \cdot 1.40 \cdot 0.5^2 \cdot \pi \cdot 11 \cdot 0.6 \cdot 0.543 / 9.8 / 0.125 = 6.4 \text{ ton} \dots (13)$ 。流木の衝撃力が相当であることが想像つく。

4. むすび 結果を要約すると、① λ 、 $(\Delta H/D)$ 等次第で、 F_d は段波の衝撃力に比べて無視できない。② ΔH とDが同程度の時、 C_H は約1.6。これは堀川の評価値(1.5~1.6)とほぼ同じ。③ C_H はほぼ λ に比例。④ $\lambda \rightarrow$ 大につれて、 Δt は長くなる。但し、 $\lambda > 20\%$ でほぼ一定。⑤ Δt にFroudeの相似則は成立しないようだ。⑥ ΔH とDが同程度の時、 Δt は (L/D) にあまり関係しない。⑦第一近似的なものであるが、 F_{dm} の一評価方法を提案した。

《参考文献》 1)松富：海岸論文集、1990。 2)松富：海岸論文集、1989。 3)松富：水講論文集、1989。 4)松富：土木論文集、1988。 5)堀川：科研費研究成果、1983。 6)後藤他：海講論文集、1982。 7)佐藤他：彰国社、1972。 8)光易：土木工学シリーズ、1965。 9)水山他：土木技術資料、1988。

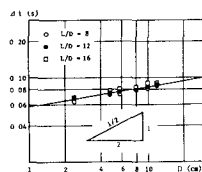


図-6(図-7に同じ)

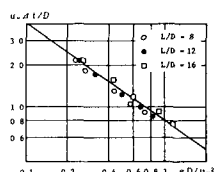


図-7($h_1 = 4\text{m}$, $\lambda = 87\%$)

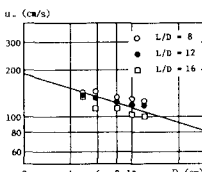


図-8(図-7に同じ)

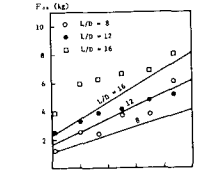


図-9($h_1 = 4\text{m}$, $D = 5.8\text{cm}$)

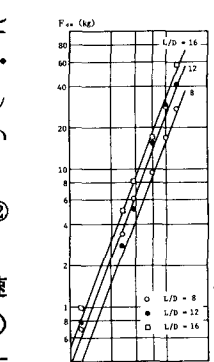


図-10(図-7に同じ)