

流木衝突力の測定精度の検討

秋田大学 正員 松富英夫

秋田大学 学員○渋谷友敬

1. まえがき 空中での大規模実験に基づいて流木衝突力の評価法を考案したが¹⁾、実験値そのものの妥当性の検討が不十分であった。そこで、本研究は実験に使用した衝突力測定用の固定鋼板（以下では測定系とも呼ぶ）を1自由度振動系と考えて、流木衝突力の測定精度を検討すると共に、衝突力評価式の実験係数の確定を目的とするものである。

2. 実験

実験は大規模なため空中で行う（図-1）。その方法や測定項目などは既報¹⁾と同じである。ただし、測定精度を検討するため、測定でのローパス

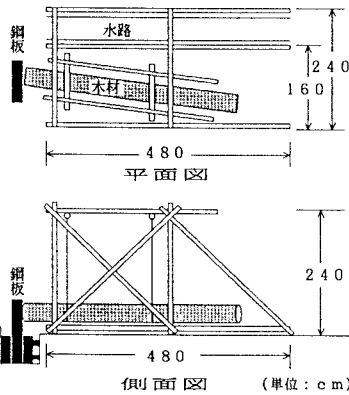


図-1 実験装置の概略

フィルター値を30Hz（既報と同じ）と100Hzの2種類にし、記録機をペンレコーダ（周波数応答性能は、ペンの振れ幅次第だが、50Hz程度）からデジタルオシロレコーダ（周波数応答性能は20kHz）に代えた。実験条件は表-1に示す通りで、衝突角度 θ は5°に固定した。表中、Dは流木径、Lは流木長、Wは実験時の流木重量、 v_{A0} は目標とした衝突速度である。

表-1 実験条件

D	θ	v_{A0} (cm/s)	L/D	W(kgf)	樹種
20cm	5°	50~200	6~20	26~89	カラ松
30cm	5°	50~200	6~13	85~197	カラ松

3. 測定精度の検討 一般に、出力の測定は、雑音除去などのため、ローパスフィルターを通して行う。そのフィルター値を100Hzと30Hzにした時の衝突力の波形例（同時測定）を図-2(a)と(b)に示す。ここで、衝突力は下向きが正、波形は0.2s間で（最小目盛は0.005s）、図-2(b)の縦変位は図-2(a)に比べて2.5倍に強調されている。図によると、100Hzの波形

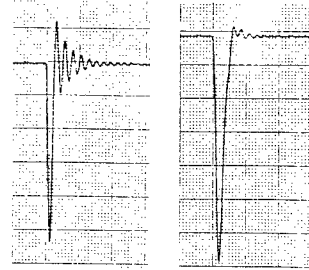


図-2 衝突力の波形例(D=30cm) s程度と判断される。

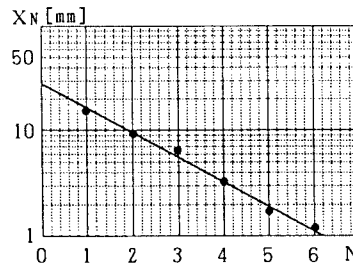


図-3 測定系の減衰定数例

えられていると思われる（30Hzのもの、特に第1波形には減衰固有振動の影響が含まれており、衝突力作用時間は実際に出力されたものよりも長めに判読される）。この測定条件での代表的な減衰固有振動（図-2(a)参照）の全振幅 X_N の経時変化例を図-3に示す。図より、測定系の減衰定数 β ²⁾は約0.08程度と判断される。

実際の流木衝突力波形 $F(t)$ は次の理由より対称三角パルスに分類されよう²⁾。

①測定波形に減衰固有振動が強く現れている。

②フィルター値30Hzの測定波形は減衰固有振動成分がほぼカットされたものと解釈されるが、その測定波形から読み取った衝突力作用時間は0.024~0.034s程度で、測定系の固有振動周期0.012sよりかなり長い。

③前傾三角パルスが考えられるが、それでは実験の衝突力作用時間の説明ができない（表-2参照）。

1自由度振動系に次の対称三角パルス $F(t)$ 、

$$F(t)/F_m = 2t/\tau \quad 0 \leq t < \tau/2 \quad \cdots \cdots (1.1)$$

$$F(t)/F_m = 2(1-t/\tau) \quad \tau/2 \leq t < \tau \quad \cdots \cdots (1.2)$$

$$F(t)/F_m = 0 \quad t \geq \tau \quad \cdots \cdots (1.3)$$

表一 2 対称三角波が作用した時の測定値と作用値

τ (s)	$f_n=83\text{Hz}$				$f_n=30\text{Hz}$		A/B
	τ_c/τ	t_{pc}/τ	τ_c (s)	$F_{mc}/F_m=A$	τ_c/τ	$F_{mc}/F_m=B$	
0.012	1.03	0.70	0.0124	1.366	1.90	0.904	1.478
0.013	1.00	0.67	0.0130	1.354	1.79	0.961	1.409
*0.014	0.96	0.65	0.0134	1.337	1.70	1.013	1.320
0.015	0.94	0.63	0.0141	1.313	1.62	1.062	1.236
0.016	0.92	0.61	0.0147	1.284	1.55	1.106	1.161
0.017	0.91	0.60	0.0155	1.252	1.50	1.146	1.092
0.018	0.90	0.59	0.0162	1.217	1.44	1.181	1.030
0.019	0.90	0.58	0.0171	1.182	1.39	1.212	0.975
0.020	0.90	0.57	0.0180	1.146	1.35	1.240	0.924
0.021	0.91	0.56	0.0191	1.111	1.31	1.264	0.879
0.022	0.93	0.55	0.0205	1.079	1.28	1.286	0.839

が強制外力として作用した時の測定系出力 $F_c(t)$ は次式のようになる²⁾。

$$F_c(t)/F_m = 2\{t/\tau - 2\beta/(\omega\tau)\} - 2\exp(-\beta\omega nt) \cdot \sin(\omega t - \xi)/(\omega\tau) \quad 0 \leq t < \tau/2 \quad \cdots \cdots (2.1)$$

$$F_c(t)/F_m = 2\{1-t/\tau + 2\beta/(\omega\tau)\} - 2\{\exp(-\beta\omega nt) \cdot \sin(\omega t - \xi) - 2\exp\{-\beta\omega n(\tau - t/2)\} \cdot \sin\{\omega(\tau - t/2) - \xi\}\}/(\omega\tau) \quad \tau/2 \leq t < \tau \quad \cdots \cdots (2.2)$$

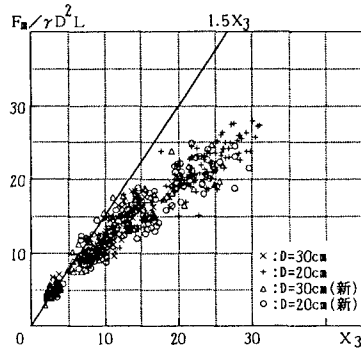
$$F_c(t)/F_m = -2\{\exp(-\beta\omega nt)\sin(\omega t - \xi) - 2\exp\{-\beta\omega n(\tau - t/2)\} \cdot \sin\{\omega(\tau - t/2) - \xi\} + \exp\{-\beta\omega n(\tau - \tau)\} \cdot \sin\{\omega(\tau - \tau) - \xi\}\}/(\omega\tau) \quad t \geq \tau \quad \cdots \cdots (2.3)$$

ここで、 F_m :最大外力、 τ :外力作用時間、 F_c :測定外力、 $\xi = \tan^{-1}\{2\beta(1-\beta^2)^{0.5}/(1-2\beta^2)\}$
 $\omega = \omega_n(1-\beta^2)^{0.5}$, $\omega_n = 2\pi/T_n$

である。測定系の減衰定数 β を 0.08、固有振動数 f_n を 83Hz (実際) と 30Hz (フィルター値 30Hz の測定時を想定) にした時の測定外力 (= 式 (2)) と作用外力 (= 式 (1)) の比などの計算例を表一 2 に示す。表中、 τ_c は測定外力の作用時間、 t_{pc} は測定外力の最大値までの立ち上がり時間、 F_{mc} は測定最大外力である。

フィルター値 100Hz で測定した実験での衝突力作用時間 τ_c は、図一 2 (a) に示した例で、0.0135s 程度である。そこで、この作用時間に最も近いものを表一 2 中の τ_c より探すと、 $\tau = 0.014\text{s}$ ($T_n = 0.012\text{s}$) であり、これがこの例での真の衝突力作用時間と推定される。

この時の 83Hz と 30Hz の測定最大外力 F_{mc} を見ると、30Hz の方はほぼ真の最大外力を、83Hz の方はその 1.34 倍程度を示している。この傾向は実験結果と定性的に一致している (実験での両者の比はもっと大きい。図一 2 (a) と (b) 参照)。



図一 4 衝突角度を無視した時の無次元衝突力 ($\theta = 5^\circ$)

り時間 t_p に関しては、100 Hz の測定でも 3 割程度大き目に出力され、本測定系の出力値そのままでは、その議論はできない。

4. 衝突力評価式の実験係数 理論的考察より、衝突角度 θ を無視した時の流木衝突力 F_m の諸物理量への依存式として、次式を導いた¹⁾。

$$F_m/\gamma D^2 L \sim \{v_{A0}/(gL)^{0.5}\}^{1.2} (\sigma_f/\gamma L)^{0.4} \quad \cdots (3)$$

ここで、 γ は流木の単位重量、 σ_f は降伏応力である。

式 (3) の左辺を縦軸、右辺 ($=X_3$) を横軸に取って実験データを整理したものを図一 4 に示す。図中には既報¹⁾のデータ ($\theta = 5^\circ$ のみ) も示してある。図によると、既報と今回のデータはほぼ同じ値を示しており、原点を通る一直線上に集中している。危険側を考慮して、実験値の上限を与える係数を採用することになると、空中での流木衝突力の評価式として、次式を得る。

$$F_m/\gamma D^2 L = 1.5 \{v_{A0}/(gL)^{0.5}\}^{1.2} (\sigma_f/\gamma L)^{0.4} \quad \cdots \cdots (4)$$

図一 4 中の実線が式 (4) である。

実流木では水の緩衝機能も加味された見かけの質量係数 C_{MA} が掛かることになり、式 (4) は次式となる。

$$F_m/\gamma D^2 L = 1.5 C_{MA} \{v_{A0}/(gL)^{0.5}\}^{1.2} (\sigma_f/\gamma L)^{0.4} \quad \cdots \cdots (5)$$

孤立構造物へ衝突する時の上限の見かけの質量係数は、段波に伴う場合が 1.7 程度³⁾、サージに伴う場合が 1.7 程度³⁾、定常流に伴う場合が 1.9 程度⁴⁾ である。

5. むすび ① 衝突力の測定値はほぼ妥当である。② 本測定系では、測定値の補正を行わない限り (その方法は不明)、衝突力立ち上がり時間の議論はできない。③ 衝突力評価式の実験係数は 1.5 が妥当である。《文献》1) 松富・池田: 海岸論文集, 1996. 2) 合田: 港湾技研資料, 1967. 3) 吉田・松富: 東北支部, 1996. 4) 後藤・佐々木・首藤: 第 29 回海講演文集, 1982.