

II-47 塑性を考慮した場合の流木衝撃力

秋田大学 学生員 ○池田弘樹 正員 松富英夫

1. まえがき 弾性理論や弾性波理論のみに基づいた理論では流木衝撃力を過大評価してしまい、より現実的な衝撃力を得るため、著者らは水の緩衝機能を考慮した流木衝撃力の一評価理論を発表した¹⁾。しかし、その理論は、構造物に対して流木が垂直に衝突する場合を対象としたもので、実際現象を考えると、そのようなパターンは数少ないであろう。また、衝突後の流木先端部は塑性変形することも容易に想像できる。そこで本研究の目的は、流木衝撃力の緩衝機能として流木の塑性変形を考慮し、簡単な弾・塑性モデルを用いて、構造物に任意角度で衝突する場合の流木衝撃力を評価することにある。

2. 理論 実際現象では、流木が構造物に接触した直後に先ず弾性変形が生じ、降伏応力に達した後に塑性変形が生じる。しかし、本理論では単純化のため、流木の接触直後から塑性変形が生じるものとする。衝突後の流木の構造物への接触部は、流木が静止するまでに、塑性体から弾性体に移移する。このことは、実際の流木が構造物から反発することより、容易に想像付こう。塑性体から弾性体に移移するとは、その遷移時から応力 σ に変化が始まるということである。一方、流木の変形量 α や接触面積 A は、流木が静止するまで、時間的に必ず単調増加する。流木の衝撃力 F は $\sigma \times A$ で評価される。よって、その遷移時から、 F の傾向に急激な変化が見られることになる。以上を模式的に示したのが図-1である。本研究では、厳密には正しくないかもしれないが、この遷移時の衝撃力を最大衝撃力 F_m 、それまでに要する時間を衝撃力の立ち上がり時間 Δt_p と定義して、議論することにする。

ここで、 v_A は衝突後の流木の平均的移動速度、 σ_f は流木の降伏応力、 A は衝突後の時間 t における流木と構造物の接

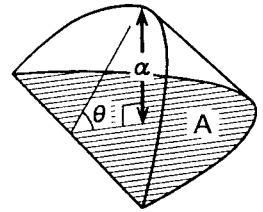


図-2 塑性変形部のモデル

触面積である。接触面積 A を図-2に用いた諸記号で表せば、次式となる。

$$A = D^2 [\sin^{-1}(1-B)^{1/2} - B(1-B^2)^{1/2}] / 4 \cos \theta \quad (2)$$

$$\approx D^2 \alpha^2 / (4 \cos \theta \sin^2 \theta)$$

ここで、 $B = 1 - 2\alpha / D \sin \theta$ 、変形量 α は時間 t に依存する未知量である。一方、流木の平均的移動速度は、 $v_A \approx d\alpha / dt$ であり、式(1)は

$$2\alpha^{5/2} / 5 \approx -\gamma \cdot (d\alpha / dt)^2 / 2 + \text{const.} \quad (3)$$

となる。ここで、 $\gamma = M \cdot \cos \theta \cdot \sin^3 \theta / (\sigma_f D^3)$ 、初期条件、 $t=0$ の時、 $\alpha=0$ 、 $d\alpha / dt = v_{A0}$ より、式(3)は最終的に次のようになる。

$$d\alpha / dt \approx v_{A0} (1 - \beta \alpha^{5/2})^{1/2} \quad (4)$$

ここで、 $\beta = 4 / (5 \gamma v_{A0}^2)$ 、式(4)を解くことにより任意時間 t における α 、 A 、衝撃力 F が求められることになる。本研究では数値的に解くことにする。

次に、衝撃力継続時間が問題となるか、これはエネルギー保存則を用いて評価することにする。弾性変形に用いられたエネルギーは流木が跳ね返るのに用いられ、流木が失うエネルギー W は塑性変形に用いられたエネルギーのみである。流木が塑性変形て失うエネルギーは式(5)の右辺のように表され、式(5)を満たす t が塑性変形終了までの時間である。この t の後も弾性変形により接触面積 A 、衝撃力 F は多少増加するかもしれないが、ここでは式(5)で得られた t を衝撃力継続時間 Δt_i 、その時の F を最大衝撃力 F とする。

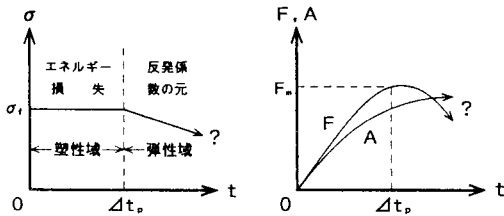


図-1 弾・塑性モデル

直径 D 、長さ L 、質量 M 、移動速度 v_{A0} の流木が構造物の法線方向に対し角度 θ をもって衝突する場合を想定する。

先ず、流木の運動方程式を示す。

$$M \cdot dv_A / dt = -F = -\sigma A \quad (1)$$

$$(1 \leq \Delta t_i \text{ で } \sigma = \sigma_f, \quad t > \Delta t_i \text{ で } \sigma = \sigma < \sigma_f)$$

$$W = M \cdot v_{A0} \cdot (1-e)/2 \approx \int F \cdot v_A dt \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 e は流木の反発係数である。

3. 計算例とその考察

図-3に、衝突角度 θ をパラメータにとった場合の塑性変形量 α の経時変化例を示す。計算に用いた諸特性値は $D=1m$ 、細長比 $L/D=8$ 、流木の比重 $\rho_s/\rho_w=0.6$ (ρ_s と ρ_w は流木と水の密度)、衝突前の流木移動速度 $v_{A0}=200$ cm/s、流木の降伏応力 $\sigma_f=600$ kgf/cm²で、これらの値は特に断らない限り以下の計算例でも同じである。図より、初期段階の α の進行過程は θ に依らないか、その後は θ が大きくなるにつれ、 α も大きくなることか判る。次に、図-4、5、6に図-3と同じ条件での衝撃力 F 、流木移動速度 v_A 、流木の塑性による損失エネルギー W の変化例を示す。これらより、 θ の増加に伴い、 F は増加するが、 θ が小さくなるにつれ、その増加率は大きくなる。 v_A については、 θ の増加に対し、 v_A の減少率は小さくなる。また、 W については、流木の反発係数 e を同じとしているので、最終的なエネルギー損失量は θ

に依らないが、その過程は θ が小さくなるにつれ W の増加率は大きくなる、等が判断される。次に、図-7と8に e をパラメータにとった場合の衝突角度 θ による衝撃力継続時間 Δt_p と最大衝撃力 F_m の変化例を示す。 Δt_p は θ が大きくなるにつれ大きくなること、 F_m は θ が大きくなるにつれて双曲的に減少することか判断される。また、図-9は、図-8と同様に、 D による最大衝撃力 F_m の変化例をみたのものである。これより、 D の増加に伴い F_m は指数関数的に増加し、その増加率は e が大きくなるにつれ小さくなる傾向にあることが判る。図-10は、図-8に対し、衝突前の流木移動速度 v_{A0} をパラメータにとったものである。式(5)からも判断できるように、 v_{A0} の増加による F_m の増加が顕著にみられる。図-11は、図-10と同様、細長比 L/D をパラメータにとったものであるが、 L/D による最大衝撃力 F_m の増加は、衝突前の流木移動速度 v_{A0} に対するものに比べて、小さいことが判る。

《参考文献》 1)松富・池田：海岸論文集、1992。

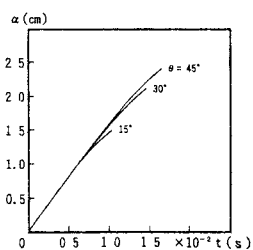


図-3 塑性変形量の経時変化例 ($e=0.2$)

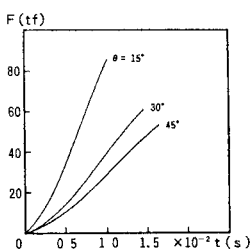


図-4 衝撃力の経時変化例 ($e=0.2$)

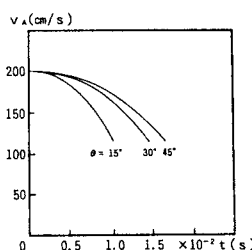


図-5 流木移動速度の経時変化例 ($e=0.2$)

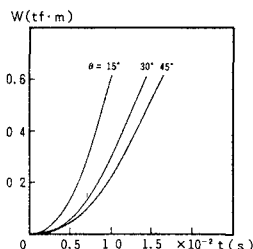


図-6 エネルギー損失量の経時変化例 ($e=0.2$)

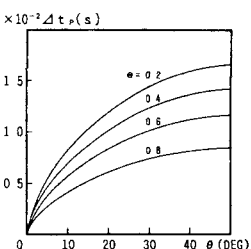


図-7 衝撃力継続時間の変化例

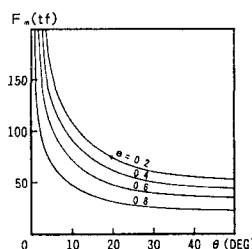


図-8 最大衝撃力の変化例

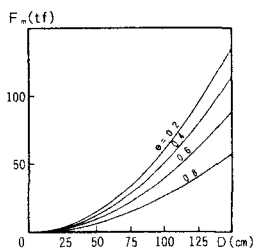


図-9 最大衝撃力の変化例 ($\theta=30^\circ$)

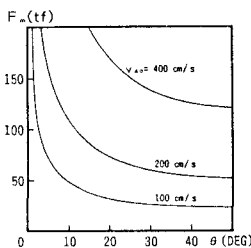


図-10 最大衝撃力の変化例 ($e=0.2$)

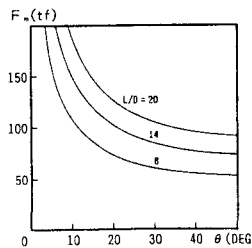


図-11 最大衝撃力の変化例 ($e=0.2$)