

災害用の軽量衝撃吸収機構を持つ展開構造の開発と解析

広島大学

Polish Academy

Polish Academy

正会員

of Sciences (IPPT)

of Sciences (IPPT)

○有尾一郎

P. Pawlowski

J. Holnicki

1. はじめに

昨今の自然災害復旧技術に関しては、その被災規模や現場の状況などから様々な制約条件や技術的課題が想定される。特に、衝撃作用を伴う現場においては、それに耐え得る重厚で頑丈な構造物を造らなければならず、復旧工事の大型化や工期日数・予算の増大は避けられなかつた。そこで、本研究では、宇宙構造物の制御技術を応用し、最新のスマート構造技術¹⁾をこの分野に利用するための基礎的な構造技術を紹介する。

衝撃荷重を受ける材料や構造物の設計は、その衝撃エネルギーに抵抗・消散させるだけの強度を保持していることはもちろん、そのエネルギー吸収を可能にする構造を準備しておくことは、それ自体を破壊させないことや繰り返し利用できる理由から大変有益である。システムの部材や材料を弾性挙動範囲内で機構システムとして抑制できれば、ショックアブソーバー等の繰返し利用することが可能となり、その効果は非常に大きいものと考えられる。最近の研究として、Holnicki ら²⁾がアクティブ制御可能なショックアブソルバーシステムを持つ、マルチ・フォールディング概念(MFM)を提唱し、基本的な非線形力学機構をもつアクティブ制御実験に成功している。

本研究は、このMFMの基本概念を、エネルギー理論による具体的な挙動特性の理解を主眼に、制御実験で発見されたフォールディングのメカニズムと挙動の数値的検証と理論的な妥当性について述べる。これにより、衝撃災害復旧のための展開構造システム系の挙動特性についての考究を行なったので報告する。

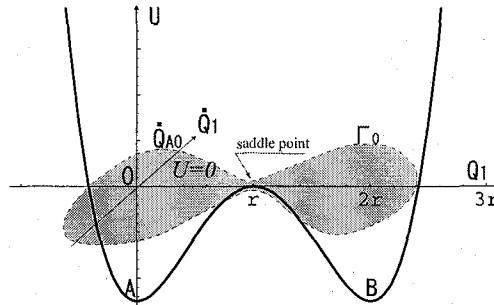


Fig. 1 Function of the total energy $U(Q_1, \dot{Q}_1)$

2. エネルギー吸収構造物の創造

宇宙構造物のアクティブ制震制御技術を応用し、衝撃荷重に対してエネルギー吸収性能を持つ軽量構造物の基本的な動力学特性の解析を試みた。

(1) 系の動的非線形平衡方程式

構造物の平衡方程式を

$$f(Q_1) = \beta(\gamma) Q_1(\gamma - Q_1)(2\gamma - Q_1) \quad (1)$$

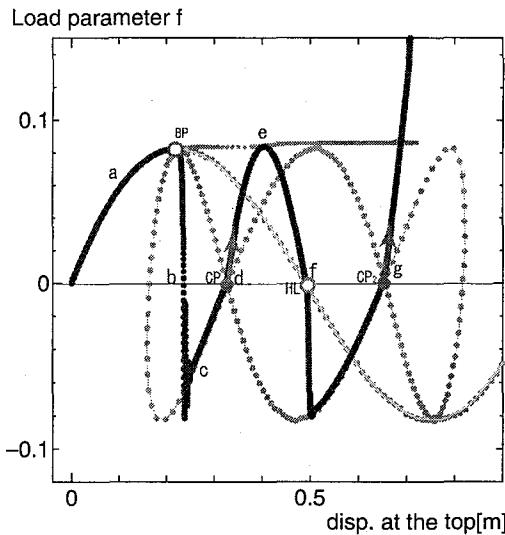
と仮定する。 $\beta \equiv \beta(\gamma)$ は系の剛性を表す係数である。このときのポテンシャルエネルギーは、式(1)を積分することで、Fig.1 に示す 2 つの井戸型ポテンシャル関数

$$\mathcal{V} = \int f(Q_1) dQ_1 \quad (2)$$

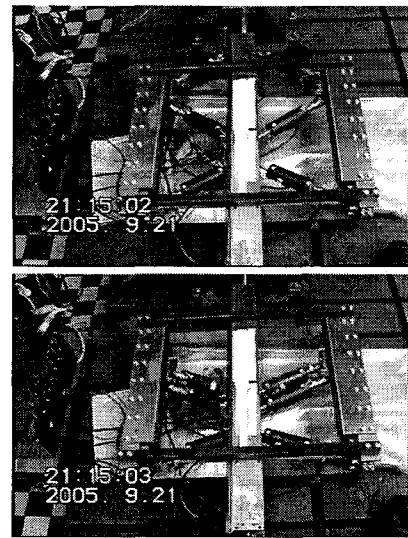
が得られる。いま、 $Q_1 \geq \gamma$ であれば軌跡が別の安定軌跡となるため、 $Q_1 = \gamma$ の値を基準 0 とする (Fig.1 中の鞍状点に対応)。したがって、Eq.(2) は

$$\mathcal{V} = \beta \left\{ Q_1^2 \left(\frac{Q_1}{2} - \gamma \right)^2 - \left(\frac{\gamma^2}{2} \right)^2 \right\}$$

と表される。この \mathcal{V} がある臨界値を越えると不安定化するとともに、衝撃エネルギーを吸収・消散する役割を果たし、系の再安定化を促す。



(a) Numerical Equilibrium curves



(b) Folding Process of the Experiment at IPPT

Fig. 2 Equilibrium curves with the contact

次に、運動エネルギーを考えるにあたり、系に接触する際の任意の衝撃速度を \dot{Q}_0 とおき、系の頂点部の変形速度 $\dot{Q}_1(Q_1)$ において、接触点 $Q_1 = 0$ のとき、 $\dot{Q}_0 \rightarrow \dot{Q}_1(0)$ に完全に移行するものと仮定する。また、反発現象等の衝撃後の等価外力の向きは不变とする。すなわち、衝撃速度 ($\dot{Q}_1(0) = \dot{Q}_0$) の運動エネルギーを考慮した全エネルギーは

$$U(Q_1, \dot{Q}_1) = \frac{M\dot{Q}_0^2}{2} + CQ_1\dot{Q}_1 + V \quad (3)$$

と表される。接触後 ($\dot{Q}_1 = \dot{Q}_0$) のエネルギー保存則 $U = 0$ を考えて、非減衰系の軌跡

$$\Gamma_0 \equiv \dot{Q}_1^2 + \frac{\beta}{2M} \left\{ Q_1^2(Q_1 - 2\gamma)^2 - \gamma^4 \right\} \quad (4)$$

は、Fig.1 中のホモクリニック軌道 Γ_0 を示す。

3. 結果と結語

本研究の解析結果と実験状況を Fig.2 に示す。この系の理論解の主経路 ν と一致する数値釣合経路を図 (a) に示す。解析は静的と動的の二種類の非線形解析と、また動的解析も変位制御型と荷重制御型の二種類の方法によって追跡した。図中の最大荷重を示す BP で、構造不安定(スナップバックとスナップスルー現象)が発生

し、系の特異性を持つことが確認できる。図 (b) の上図は初期状態を、下図は図 (a) の釣合経路上の位置 d で部材の一部が接触した時の状態をそれぞれ示す。エネルギーが消散した状態になっていることが確認できる。

これまで、このような現象を持つ系は工学的に問題とされ敬遠されてきたが、衝撃エネルギーを吸収するための構造・材料としては大変有効な方法であるとともに、軽量な構造体・材料であれば災害緊急時の復旧構造体として大変有用であると考えられる。

謝辞

本研究は科学研究補助金基盤研究 (C) の課題 (17560053) に対する成果の一部であり、ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) Twist buckling and the foldable cylinder : an exercise in origami, G.W. Hunt and I. Ario, *Int. J. of Nonlinear Mechanics*, Vol. 40(6), pp.833-843, 2005,
- 2) J. Holnicki-Szulc, P. Pawłowski, M. Wiklo (2003), High-performance impact absorbing materials - the concept, design tools and applications, *Smart Materials and Structures*, No. 12 (2003), pp. 461-467.