

I-475 個別要素法のキャスクの転倒への適用性

○ 前田建設工業(株) 正 員 龍 博志
(財)電力中央研究所 正 員 白井 孝治

1. はじめに

使用済燃料の輸送容器(キャスク)を輸送する過程において、キャスクを縦置きで使用することがあり、地震に対するキャスクの転倒評価が重要となる。キャスクの地震時の浮き上がり転倒現象は、本質的に円筒剛体の動的振動問題として取り扱うことができる。剛体のロッキング振動と転倒現象については、過去に数多くの研究がなされてきたが¹⁾、現象が基本的に大変形の非線形現象であること、理論的な検討が困難であることから、まだ十分に解明されるに至っていない。本研究では、キャスクの浮き上がり転倒現象を解析するにあたり、Cundall の提案した個別要素法²⁾を適用し、キャスクの小型模型を用いた振動試験結果と比較して、解析手法の有用性を検討した。

2. 小型模型振動試験

二次元加振振動台上に、小型模型と床面模型をセットして加振を行い、模型のロッキング振動および滑動の測定を行った。図-1に、模型の形状・寸法を示す。図-2に、計測点を示す。模型の寸法は、 $\phi 210 \times 550 \text{ mm}$ 、寸法比は1/5 と 1/3、重量は約145 kgfである。また、振動試験に先立ち、試験体底部の動摩擦係数および試験体のロッキング反発係数の測定を行った。ロッキングの反発係数は角速度の減衰の割合で表され、次式で定義される。

$$\dot{\theta} \rightarrow \delta \times \dot{\theta} \text{ at } \theta=0 \quad (0 < \delta \leq 1) \quad \text{--- (1)}$$

以後、この δ を角速度減衰率と呼ぶ。また、 δ は、衝突周期からも算定でき、式(1)の値とほぼ同じ値が得られることが知られている¹⁾。動摩擦係数の実測値は、0.250、 δ の実測値は、寸法比が1/5の場合が0.980、寸法比が1/3の場合が0.941であった。加振波形は、正弦波(1.5~5.0Hz)とEl Centro 波形(1940,S00E)であり、最大入力加速度は、100gal~700galとした。図-3に、正弦波波形を入力した時の、応答角度、応答角速度の計測結果のリサージュ図の一例を示す。試験体が二次元的なロッキングだけではなく、こま回りのような三次元的な挙動をしているのがわかる。

3. 解析モデル

図-4に、解析モデルを示す。この解析モデルは、二次元平面角柱モデルで、小型模型と床面は剛体でモデル化し、小型模型モデルの密度は、試験体と等価になるように設定し、加振波形は、床面より入力した。解析に用いた接触面のバネ剛性と減衰定数は、反発係数試験で測定された角速度の自由減衰振動波形と等価になるように設定した。図-5に、バネ剛性と減衰定数の値の設定フロー図(図中のNは、ロッキング回数)を示す。表-1に解析に用いたバネ剛性と減衰定数を示し、図-6に、角速度の自由減衰振動波形の試験結果と解析結果を示す。

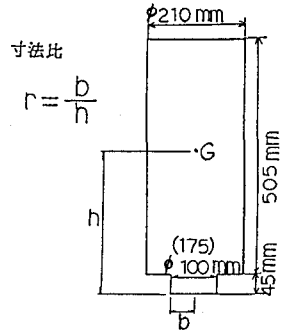


図-1 模型の形状・寸法

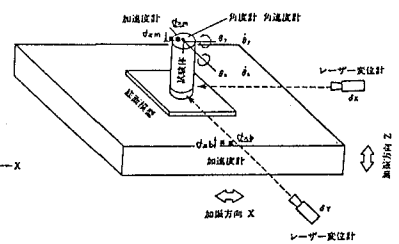


図-2 計測点

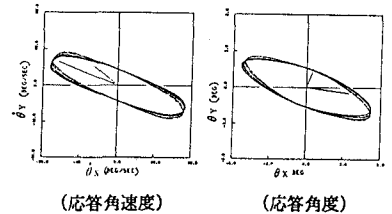


図-3 リサージュ図

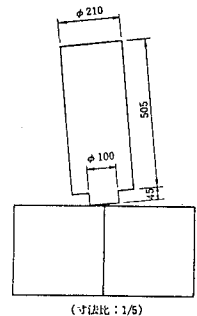


図-4 解析モデル

4. 解析結果

図-7に、寸法比 1/3の模型を用いて、振動数5Hz、最大入力加速度300gal正弦波入力の場合の応答角度波形について、試験結果と解析結果を示す。解析値は、試験結果とほぼ良い一致を示しており、上記で設定した解析モデルが妥当であると判断される。

図-8に、寸法比 1/5の模型を用いて、El Centro 波形入力の場合の解析モデルの転倒挙動を示す。解析では、入力最大加速度210galの時に転倒に至った。試験においても200galを超えたあたりから転倒する結果が得られており、ほぼ良い一致を示している。

図-9に、滑動が卓越する寸法比 1/3の試験体を対象として、El Centro波形（入力最大加速度760gal）を入力した場合の滑動量の時刻歴について、解析結果と試験結果を示す。解析値は、試験結果とほぼ良い一致を示している。

図-5 バネ剛性、減衰定数設定フロー図

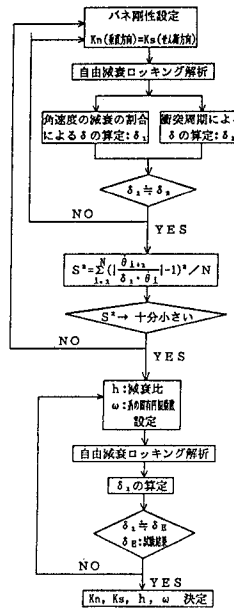


図-6 角速度の自由減衰振動波形

表-1 解析に用いた定数

寸法比	バネ剛性 (kgf/cm ²)		減衰定数	
	kn	ks	h	ω
1/5	5.6×10^5	5.6×10^5	なし	なし
1/3	5.6×10^5	5.6×10^5	0.003	20

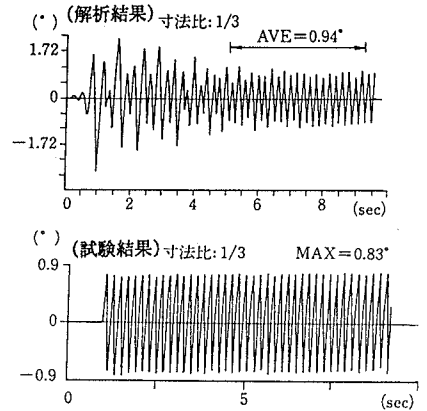


図-7 正弦波応答角度波形

(1) 正弦波を入力した場合、解析と試験結果は良い一致を示しており、解析のモデル化手法の妥当性が確認された。試験結果は、明かに3次元的な挙動を示しており、今後、本解析を3次元に拡張する予定である。

(2) 地震波を入力した場合、転倒挙動および滑動量については、試験結果とほぼ一致することが明らかとなった。本解析では、摩擦係数を一定として取り扱っているが、静止摩擦係数の適用、面圧やすべり速度の依存性を考慮することにより、解析精度の改善を図る予定である。

[参考文献]

- 1) 小川：剛体の転倒振動に関する研究，日本建築学会論文報告集，No.287,1980
- 2) Cundall, P.A.: The measurement and analysis of accelerations in rock slopes, Ph.D. Thesis, University of London, 1971

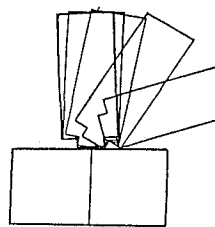


図-8 解析モデルの転倒挙動

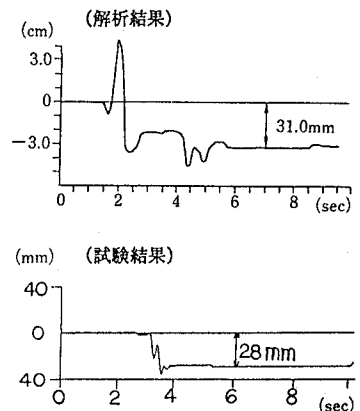


図-9 滑動量の時刻歴