

I-364

浮揚式発電所浮体構造物の免震性について

(財) 電力中央研究所 正会員 ○萩原 豊

(財) 電力中央研究所 増子芳夫

(財) 電力中央研究所 正会員 中村秀治

1. はじめに

我国の原子力発電所は岩盤上立地を原則とするが、将来の岩盤上立地地質の不足に備え新立地技術の開発が各方面で進められており、そのひとつとして、防波堤や堀込港内にてプラントを浮かべる、浮揚式海上立地方式がある。浮揚式プラントは免震性を有するため、建屋・機器耐震設計の合理化・標準化が可能と考えられる。しかし、浮揚式構造物、特に内水域内浮体については、地震応答特性に関する検討例は少ない。したがって、浮揚式発電所の成立性評価のためには、浮体構造物の免震性および地震動長周期成分に対する揺動特性等を評価する方法を開発する必要がある。

本報告は、浮揚式原子力発電所浮体構造物の地震応答特性に関する研究の第一段階として、内水域内無係留箱型浮体への水を含めた地震動伝達特性を、簡易解析、実験、有限要素解析により検討したものである。

2. 簡易解析による浮体の免震特性の予備評価

地震動水平短周期成分に対する浮体の免震特性を把握するため、簡易解析モデルによる解析を実施した。

水はせん断剛性を持たないため、海底面から浮体へせん断波による地震動の伝達が生ずることはないと考えられるが、防波堤等により閉じられた水域の場合には、地震動水平成分により動水圧が発生して浮体に作用するため、わずかに地震動水平成分が伝達すると考えられる。

このため、Braha・Heilbronが求めたダムの動水圧の理論解をもとに、図-1中に示す簡易解析モデルを用いる、地震動水平短周期成分の浮体への加速度伝達率を求め、(1)式を得た。

$$\frac{\ddot{u}_s}{\ddot{u}_i} = \frac{\frac{32}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left[(2n+1)^3 \sinh\left(\frac{2n+1}{2} \frac{b}{h} \pi\right) \right]^{-1}}{\frac{b}{h} + \frac{32}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left[(2n+1)^3 \tanh\left(\frac{2n+1}{2} \frac{b}{h} \pi\right) \right]^{-1}} \quad (1)$$

ここに、 $\ddot{u}_i$ 、 $\ddot{u}_s$ ：地盤、浮体の水平加速度、 b ：浮体の幅、 h ：吃水、 l ：浮体-防波堤間距離

図-1に(1)式の計算例を示す。同図より、浮体は内水域内にあっても高い免震性を有し、 b/h 、 l/h という2つのパラメータが大きいほど免震性は高いことが指摘できる。

3. 模型実験の方法

本実験は、鋳鉄水槽中に設定した内水域内に、剛な浮体（図-2 模型実験の仮設本設置条件の一例）を無係留で浮かべ、水槽全体を振動台で正弦波加振することにより、浮体への地震動伝達特性を調べたものである。図-2に仮設本設置条件の一例を示す。なお本実験の相似則はフルード則であり、長さの相似比 l^* に対して、振動数の相似比 $f^* = 1/\sqrt{l^*}$ 、加速度の相似比 $a^* = 1$ である。

(*) Braha, Heilbron: Discussion of "Water Pressures on Dams During Earthquake", by Westergaard, Trans. ASCE Vol 98, 1933

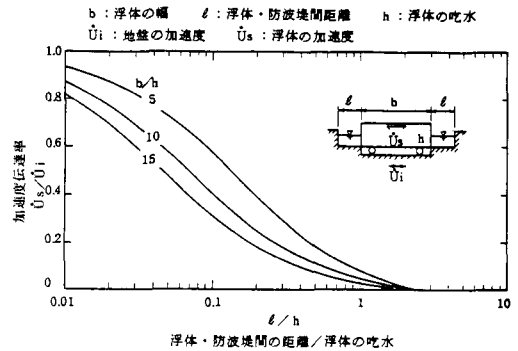
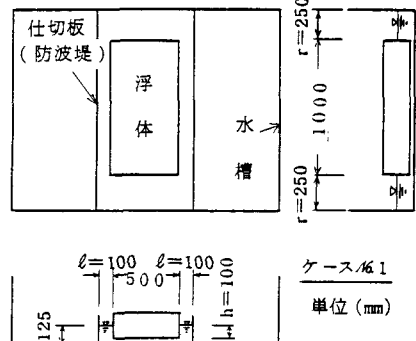


図-1 簡易解析による浮体への加速度伝達率

水平加振の方向



4. 短周期水平加振実験（振動数2〜30Hz）

図-3に示す様に、短周期水平地震動に対し、浮体は顕著な免震性を有する。浮体上の加速度は振動数によらず一定値を示し、(1)式の加速度伝達率の特性と一致する。浮体運動には回転による上下動成分がみられ、浮体底面に作用する動水圧の影響と考えられる。

また、図-4の様に、浮体への加速度伝達率は、浮体から離れるほど低下しており、簡易解析と整合するが、全体に簡易解析値を上回る。これは、簡易解析において浮体の回転を無視しているためと考えられる。

5. 長周期水平加振実験（振動数0.1〜2Hz）

図-5に示す様に、長周期水平加振時には、浮体揺動に2〜3の共振央が認められ、そのうち支配的モードは水域全体のスロッシングが主体のモード(a)と浮体の回転が主体のモード(b)である。高次のスロッシングが主体のモード(c)による浮体揺動は一般に小さい。

また、図-6の様に、浮体・防波堤間距離を大きくしていくと、モード(a)、(b)の共振振動数は低下し、およそ0.3〜1.3Hzの範囲にある。したがって、実験（相対比 δ^* =100〜200）では、やや長周期の地震動特性を踏まえた耐震性評価が必要となる。

6. 上下加振実験（振動数0.1〜30Hz）

図-7に示す様に、全振動数域にわたって浮体上の加速度は振動台入力加速度に等しく、上下地震動は浮体上にそのまま伝達する。従って、実験においては、海底面の上下地震動は、そのままプラントへの入力になるものと考えられる。

7. 有限要素法による浮体の地震応答解析

堤防・田口・青柳の解析法²⁾をもとに、有限要素法にもとづく浮体の地震応答解析法を作成、実験に適用した所、図-3、7に示す様に良く一致し、本解析法の適用可能性が確認された。

8. まとめ

無係留状態における土木域力槽型浮体の地震応答特性を把握し、免震性を確認した。今後、現在想定される発電所浮体構造物および系留システムを対象として実験・解析を行い、浮体式原子力発電所浮体構造物の地震応答特性の評価手法を確立していく予定である。

1) 萩原他、電力中央研究所報告 No. 385 028

2) 堤防・田口、電力中央研究所報告 No. 385 042

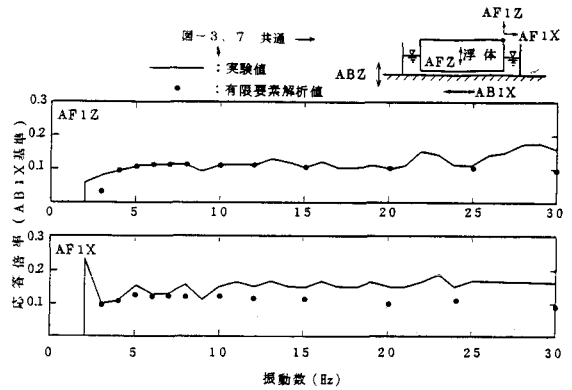


図-3 短周期水平加振時の浮体の共振曲線(ケースNo.1)

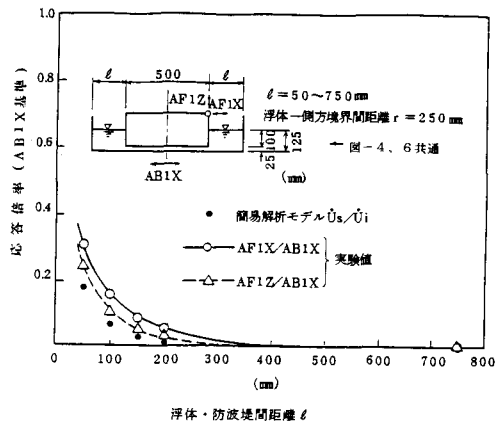


図-4 加速度伝達率の δ による変化

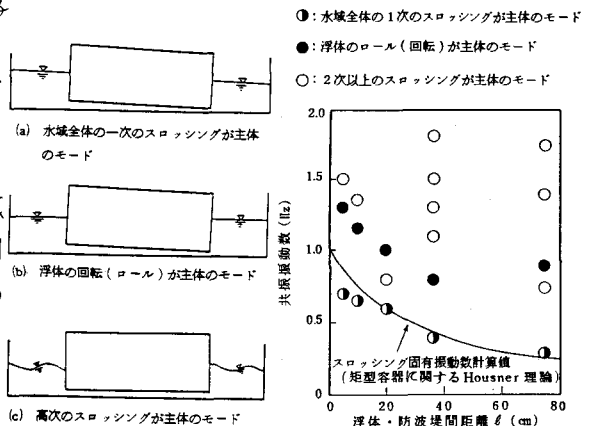


図-5 モード別概念図 図-6 δ による共振振動数の変化

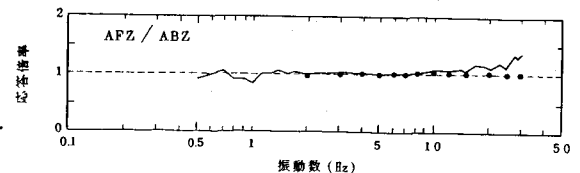


図-7 上下加振時の浮体の共振曲線 (ケースNo.1)