

(98) 埋め込み基礎の原位置起振実験

東京電力㈱

東京電力㈱

㈱電力中央研究所

㈱奥村組

正会員○佐藤正樹

正会員 大塚正博

正会員 栃木 均

正会員 中村敏晴

1. はじめに

現在、東京電力では系統の電力安定化対策の一つとして、同期調相機の設置工事を進めている。同期調相機(図-1)は、同期機(水力発電機等)の一種で、今回設置している機器は総重量519tf、縦軸型高速回転機器(定速600rpm)である。本基礎の設計にあたっては、回転部(280tf)が偏心回転を起こした時の振動について、S-R モデル、軸対称FEM で種々の検討を行ったが、その確認のため基礎築造段階で起振実験により基礎の振動特性を検証した。以下に結果の概要を示す。

2. 基礎・地盤の概要

基礎は、完成時の平面寸法が20.5m×15.0m、高さが10.0m の箱状型の基礎で地中に埋め込まれている。地盤状況は図-2に示

す様に、表層よりローム主体の盛土層(2m)、ローム層(3m)、以深は扇状地性の砂礫層で、ほぼ成層構造をなしている。各地盤物性値を表-1に示す。

3. 実験方法

起振実験は、基礎の埋め込み効果を評価するため基礎底版完成後(基礎高さ4.2m、基礎重量3202tf)と基礎全体完成後(基礎高さ10.0m、基礎重量5740tf)の2段階で実施した(図-3)。起振機は10tf(3~25Hz)および25tf(3~10Hz)を使用し、図-3に示す様に起振機、速度計を配置し、水平一方向(長辺方向)加振、0.2Hz ピッチに測定を行った。

4. 実験結果

(1)基礎の振動特性 —— 測点1,3 より求めた水平・回転の共振・位相曲線を図-4に示す。共振曲線には、地上に設置された基礎に見られる様な明瞭なピークが見られないが、6Hz(基礎底版および全体完成後)、8Hz(基礎全体完成後)に小さなピークが見られる。また、位相曲線より基礎の固有振動数は、基礎底版完成後は約13Hz、基礎全体完成後は約8Hzで、この差は基礎重量及び回転慣性の増加が一因と考えられる。

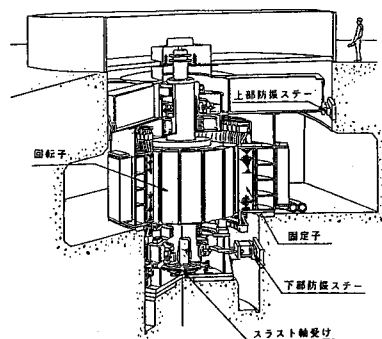
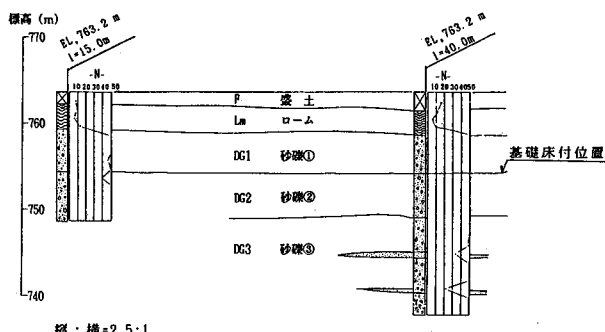


図-1 機器概要図



縦:横=2.5:1

図-2 地盤構成図

表-1 地盤物性値調査結果

土質	深度 (m)	単位体積重量 r_t (tf/m ³)	せん断波速度 V_s (m/s)
盛土	0~2	1.41~1.53	75~100
ローム	2~5	1.37~1.55	160
砂礫①	5~10	1.95~2.28	400
砂礫②	10~15	—	600
砂礫③	15~	—	700

図-5,6に軌跡図,モード図を示す。これらの図より、2段階の実験とも基礎はSway・Rocking 振動を行っていることが分かる。また、図 7に示す定義によって、基礎底版の上での水平変位に占める基礎底面の水平変位の割合で求めたSway・Rocking 率とRocking 中心深さを図-8,9に示す。振動モードは、加振高さが重心高さに近いことから全振動数域でSway率が80%以上と比較的Swayの卓越した挙動をし、また、基礎全体完成後は高振動数域になるに従ってRocking 振動が抑えられていくことが分かる。

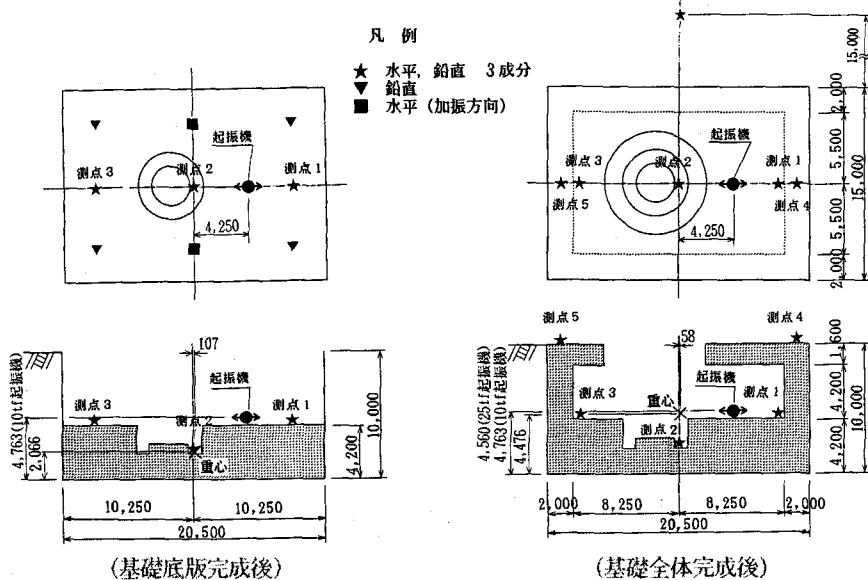


図-3 実験計器配置

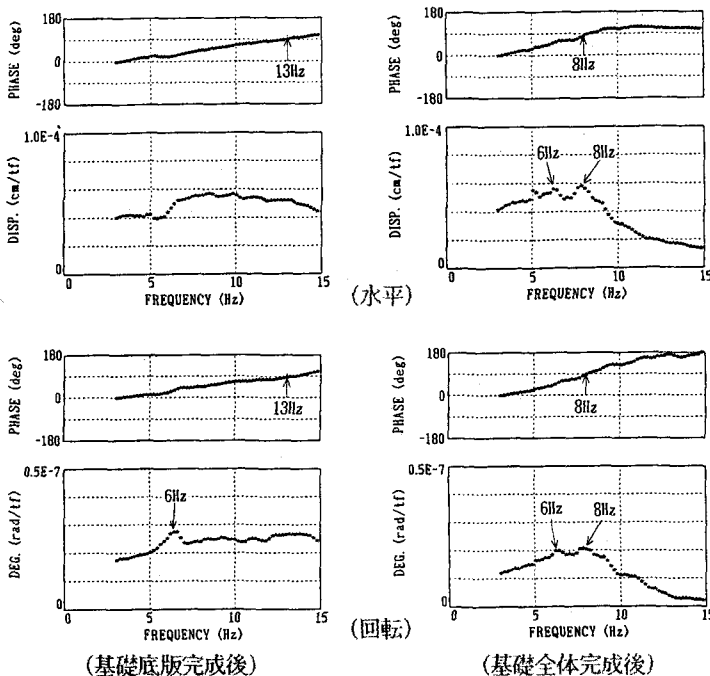


図-4 共振曲線

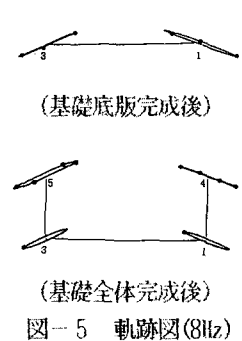


図-5 軌跡図(8Hz)

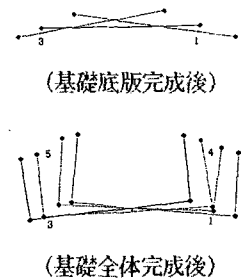


図-6 モード図(8Hz)

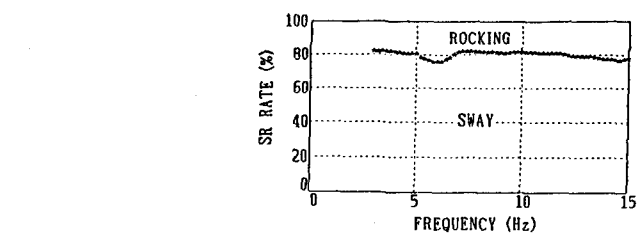


図-7 基礎底版上のSR率および
Rocking 中心位置の概念図

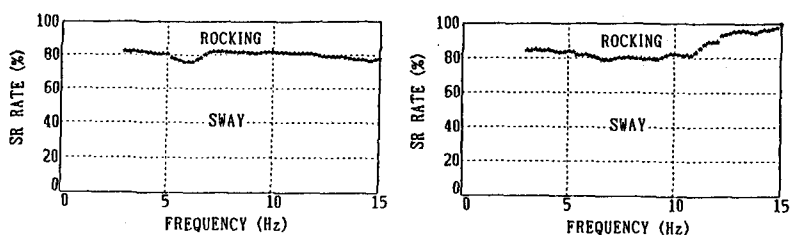


図-8 Sway・Rocking 率

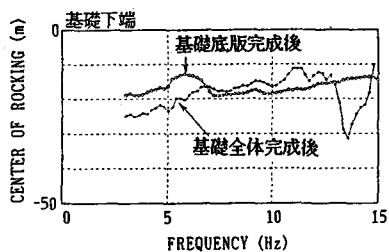


図-9 Rocking 中心位置

(2)基礎の埋め込み効果 —— 基礎全体完成後の共振曲線は、基礎底版完成後と比較すると 8Hzより高振動数域での応答が低下している。一方、実験結果より基礎底版完成後、基礎全体完成後それぞれについて、基礎をSway・Rocking の2自由度の剛体と仮定し、式-1に示す運動方程式により複素ばねを各振動数毎に逆算した。また、その計算値の複素ばね実数部と虚数部から式-2により等価減衰定数を求めた (図-11)。

$$\left\{ -\omega^2 \begin{pmatrix} m & 0 \\ 0 & I_G \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} k_H & -k_H H_G \\ -k_H H_G & k_R + k_H H_G^2 \end{pmatrix} \right\} \begin{Bmatrix} u \\ \theta \end{Bmatrix} = F \begin{Bmatrix} 1 \\ \ell \end{Bmatrix} \quad (\text{式-1})$$

ここに、

- m : 基礎の質量 I_G : 基礎の回転慣性
 k_H : 底面水平複素ばね k_R : 底面回転複素ばね
 (複素ばねは、基礎底面に集約した)
 u : 基礎重心水平変位 θ : 基礎重心回転角
 F : 加振力 H_G : 重心と基礎底面の距離
 ω : 振動数 ℓ : 重心と加振位置の距離

$$\frac{h}{1-h^2} = \frac{k'}{2k} \quad (\text{式-2})$$

ここに、

- h : 等価減衰定数 k : 複素ばね実数部
 k' : 複素ばね虚数部

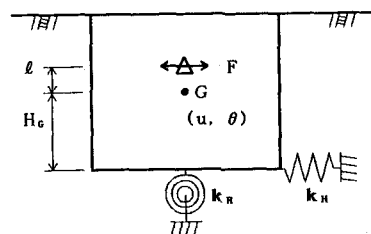


図-10 Sway・Rocking モデル

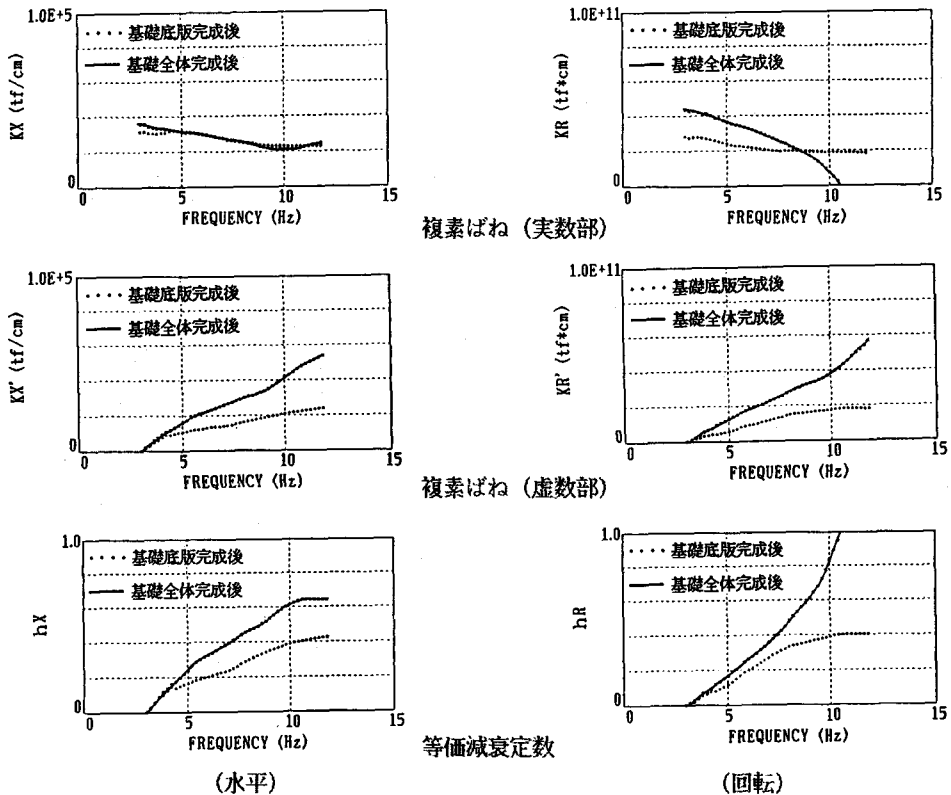


図-11 複素ばねと等価減衰定数での比較

図-11より、今回の基礎においては、

①複素ばね(実数部)は、振動数が高くなると共に低下する傾向を示す。特に、基礎全体完成後の回転ばねはその傾向が大きい。また、水平ばねは基礎底版完成後と基礎全体完成後の変化は小さい。②複素ばね(虚数部)は、振動数が高くなると共に増加する傾向を示し、基礎全体完成後は基礎底版完成後の2倍程度の値を示す。その傾向は等価減衰定数についても同様である。

以上が結果として得られた。

5. まとめ

起振実験の結果、(1)埋め込み基礎の共振曲線は、地上に設置された基礎に見られる様な明瞭なピークを示さない、(2)複素ばねの比較より2段階の実験で、ばね(実数部)の変化は小さく、ばね(虚数部)は基礎全体完成後の方が大きい、等が明らかになった。今後は、このデータを基に地盤複素ばねの再評価を行うと共に、機器運転時の振動について確認解析することとしている。実験に当り、御指導頂いた久保慶三郎東京大学名誉教授を始め、御協力頂いた関係各位に深謝致します。

〔参考文献〕1)大友、当麻、橋本、花田、上島、矢島：軟質地盤における基礎の埋設効果に関する実験的検討(201)1985.12、(202)1986.6，(財)電力中央研究所報告

2)竹内、栗本、有井、当麻、大友：Experimental Study on Dynamic Behaviour of Embedded Block Foundation ---Restraint Effect of Backfill Sand, 8th International Conference on STRUCTURAL MECHANICS IN REACTOR TECHNOLOGY, 1985, Vol.K(a) pp.287-292