

東京電力K.K 技術研究所 正 野 口 俊 郎

正 堀 口 潤 一

1 ま え が き

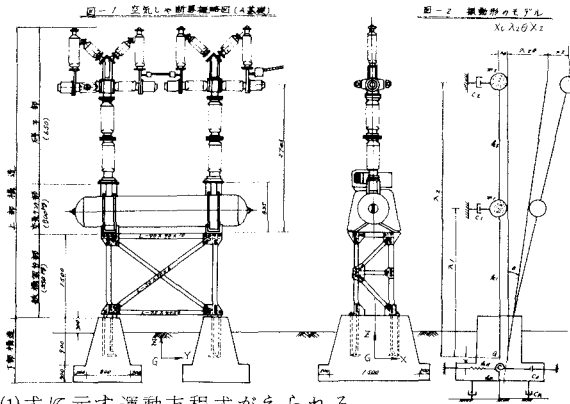
最近電力会社の変電所用電力機器の地震被害が発生したため、これら機器の補強および基礎設計の両面から耐震設計の再検討が行なわれている。

筆者らはこれら再検討の一部として、最も被害例の多かつた機種である空気しや断器を例にとり、地盤およびコンクリート基礎体を含む振動系として扱い、理論解析および加振実験を行ない動的耐震設計方法の解明を行なっている。

本報告はこれらのうちコンクリート基礎体の大きさと、動地盤反力係数が、これら振動系の振動特性に及ぼす影響について理論計算と加振実験を行なった結果を述べるものである。

2 運動方程式

図-1に示す空気しや断において上部構造(鉄構架台以上)は曲げ型2質点系とし、下部基礎体は水平、回転運動を伴う剛体と仮定し図-2に示す力学モデルを設定した。



この力学モデルより(1)式に示す運動方程式がえられる。

$$\left. \begin{aligned}
 m_i \ddot{x}_i + \sum_{j=1}^2 C_{ij} \dot{x}_j + \sum_{j=1}^2 k_{ij} x_j &= 0 \\
 W_0 (\ddot{X}_0 + \ddot{Z}) + C_0 (\dot{X}_0 - d\dot{\theta}) + k_H (X_0 - d\theta) + \sum_{i=1}^2 m_i \ddot{x}_i &= 0 \\
 J \ddot{\theta} + C_R \dot{\theta} + k_R \theta - C_0 d (\dot{X}_0 - d\dot{\theta}) - k_H d (X_0 - d\theta) + \sum_{i=1}^2 m_i \ddot{x}_i \lambda_i &= 0 \\
 x_i &= X_0 + X_i + \lambda_i \theta + Z \\
 i &= 1, 2
 \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

x : 質点の原点よりの変位 (cm)

X : 質点の弾性変形 (cm)

X_0 : 基礎重心の水平変位 (cm)

θ : 基礎の回転角 (Rad)

m : 質点の質量 ($Kg \cdot sec^2 \cdot cm^{-1}$)

W_0 : 基礎の質量

J : 基礎重心廻りの質量慣性モーメント ($Kg \cdot cm \cdot sec^2$)

λ : 基礎重心点より質点迄の高さ (cm)

k : 質点のばね定数 ($Kg \cdot cm^{-1}$)

k_R : 基礎回転のばね定数 ($Kg \cdot cm / Rad$)

C_0 : 基礎の横方向粘性減衰係数 ($\text{kg} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}^{-1}$)

CR: 基礎の回転粘性減衰係数 ($\text{Kg} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}^{-1}$)

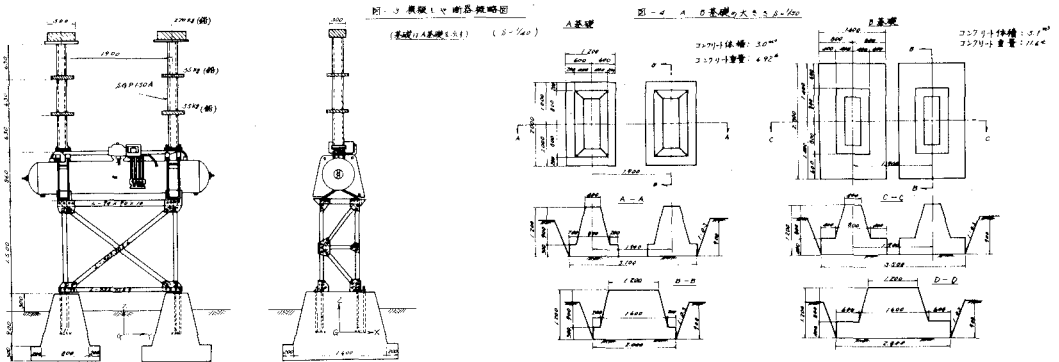
Z : 水 平 地 動 (cm)

C : 質点の粘性減衰係数 ($\text{Kg} \cdot \text{sec} \cdot \text{cm}^{-1}$)

3 実 験 概 要

実験には東芝製ABC R140 M型(図-1)を使用することとし、またこれに低圧力学的に等価な模擬しや断器(図-3)を造り使用した。

基礎コンクリートは大きさの異なる A, B, (図-4) の 2 種類とした。



実験場は立川市小平栄町で、基礎体は自然状態の関東ローム層を削つて設置した。ローム層厚は約 6 m であり、その下は砂利層である。

加振方法は自由減衰振動実験と起振機で地盤を介して加振する強制振動実験である。

なお実験は系が振動しやすい $X-Z$ 方向について主に行なつたのでこの方向について述べる。

4 実験値と計算値の比較

4-1 地盤反力係數

図-2に示す力学モデルにおいて系を支えている鉛直および水平のばね系はすべて鉛直地盤反力係数 K_v を基準として求めることとし、水平地盤係数は鉛直地盤係数の70%として計算することとした。

実際の K_V の値は実験場のローム地盤に、A 型基礎底面積と同程度のコンクリート基礎体（長さ $2.0 \times$ 巾 $1.5 \times$ 高 2.0 m ）を設置し、これに起振機を据付け長手方向に水平振動を与えてロッキング振動の共振点を求め、計算によつて K_V を求めるものとし、その値は $4.0 \sim 5.0 \text{ kg/cm}^2$ 程度であった。

なお K_v の実測にあたり基礎体の共振半振巾は水平方向で基礎体天端で $1.8 \sim 3.2 \text{ mm}$ ，下端で $0.65 \sim 1.2 \text{ mm}$ ，上下方向で天端 $0.42 \sim 0.81 \text{ mm}$ ，下端で $0.5 \sim 0.76 \text{ mm}$ 程度，一次共振振動数は $6.3 \sim 6.6 \%$ であった。

理論計算においてはこの K_v をA基礎の K_v と見なし、これを基準にとり、一般に粘性土に適用される理論式(2)を用いて換算することとした。

$$K_2 = K_1 \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \text{ ----- (2)}$$

A_1, K_1 : 試験基礎底面積と地盤係数

A_2, K_2 : 設計基礎 // と //

4-2 固有周期

図-5に示す曲線は K_v を変えることにより、模擬しや断器の固有周期 T_0 がどのように変わるか計算で求めたものである。

実験の結果によればB基礎上の模擬しや断器の T_0 は基礎を大きくした割合には早くならずこれは図-4に示すように2個のコンクリート基礎体が接近している場合は1個の連続体に近く、単体として K_v を(2)式で求めた値より実際には小さくなっていることも考えられるので、これを連続体として扱い K_v を求め T_0 を計算したのが図-5-⑤の曲線である。

図-5 地盤係数と一次固有周期の関係(模擬しや断器)

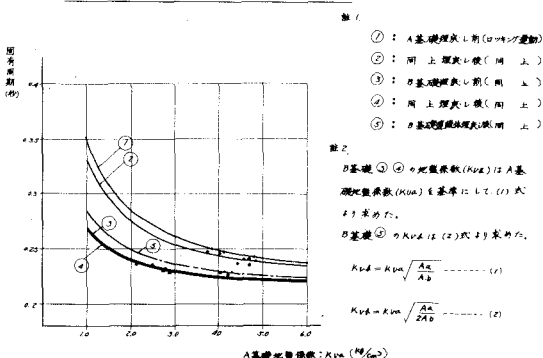


図-5におけるA基礎および⑤の曲線に実験で求めた T_0 を記入すると T_0 に対する K_v はA, B基礎共にほぼ4.0~5.0 Kg/cm^2 の範囲にあり4-1項で述べた K_v にほぼ等しい値を示している。

4-3 振動系

A基礎上の模擬しや断器の計算および実験で求めた振動

形を図-6に示す。

図-6 模擬しや断器 A基礎(固定)系

4-4 減衰定数

自由減衰振動波形より求めた減衰定数は模擬しや断器で

0.01~0.015, 実物しや断器で0.02~0.025であつた。

5 応答計算

図-2に示す実物空気しや断器の鉄構架台を固定した場合と図-7に示す大きさの異なる3種類の基礎に設置した場合について K_v を変え固有周期と応答の計算を行なつた。

この場合 K_v はA基礎の K_v を基準とし(2)式によりB, D基礎の K_v を換算して求め計算に使用した。

また応答計算においては外力は系の T_0 と同じ周期で加速度0.15gの共振正弦波形動として、共振3波目の応答を求めた。

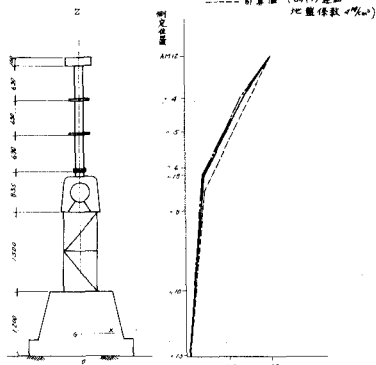
この場合減衰定数はすべてのモードに対して実物しや断器の実測値0.02とした。

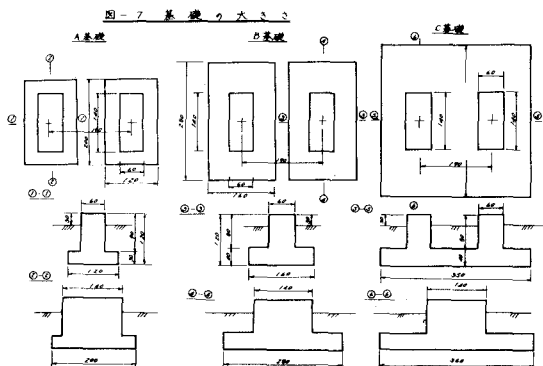
5-1 固有周期

各基礎の固定度による T_0 の変化を図-8に示す。

5-2 加速度応答

各基礎の固定度による加速度応答(質点2)を図-9に示す。





6 む す び

以上述べた通り共振3波により求めた加速度応答計算結果からは、基礎を大きくしても必ずしも、加速度応答は減少せずこのことは系が天然地震動を受けた場合についても地震動の波形によつては、起りうるものと思われる。

このため現在この種構造物に使用する規模の基礎体における具体的動的 K_v を各種地質について求め、基礎体の形状、寸法による効果や、基礎体重量の系に与える影響について検討を行なっている。

参考文献

① 構造物の動的解析 武藤清 著

② JSSC VOL.3 NO.22

構造物の基礎 後藤尚 著

③ Matrix Methods in elastomechanics.
Pestel Fredericks.

図-8 地盤係数と一次固有周期の関係

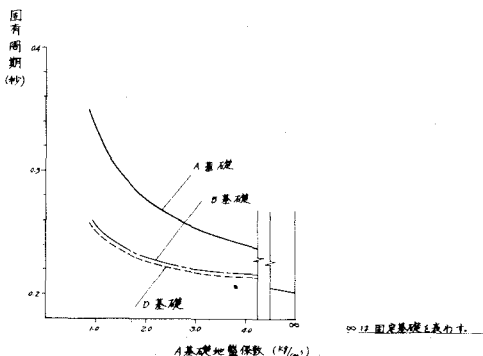


図-9 地盤係数と絶対加速度(自発2)の関係

