

剛体の震動特性に関する一、二の考察

東京電力 K.K. 正員 小野 章
電力中央研究所 正員 ○堤 一

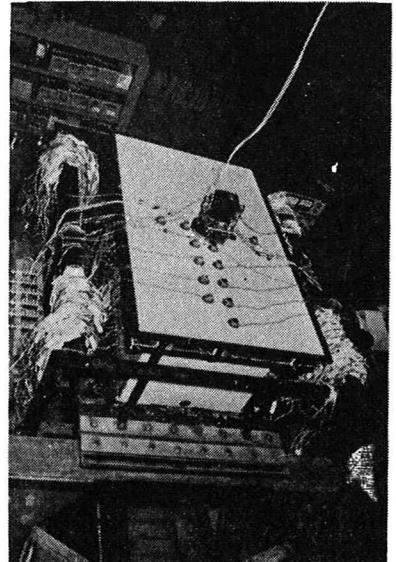
§ 1 まえがき

工学の進歩につれて、つぎつぎと新しい構造物が建設されてきているが、同時に、多くの新しい問題が生じている。機械基礎の防振から始まった標題のような問題も、各種建築物、構造物基礎へと拡大されるにしたがって、みなおさるべき一時期にきているものと思われる。

とくに、軟弱な地盤に重量の大きい構造物が建設される場合を想定すれば、その基礎工法との関連において、耐震設計上、検討しなければならない問題が多い。

すなわち、地盤を弾性体と考えられる範囲においても、従来広く用いられている動的 k -値や仮想質量を用いる方法もその適用限界には不明な点が残されており、構造物が大きくなると地層の影響も大きくなり、さらに、地盤の非線型性、また、その破壊問題と、多くの難問が山積している。

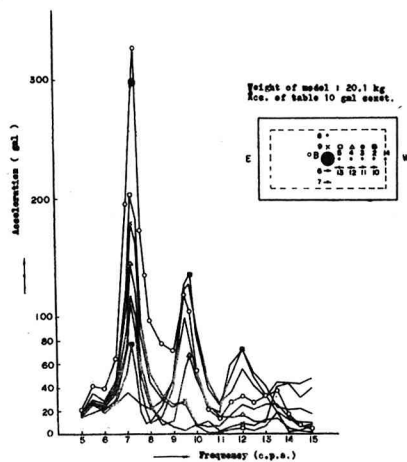
これらの問題を手近かなところから解明していくために、ゴムを用いた地盤模型による実験、実地盤中のコンクリートブロックの地震観測や起振実験、さらに、実物建屋の地震観測を行っているので、まだ、解析途上ではあるが、その一部を御報告し、御批判、御指導をえたいと思う。



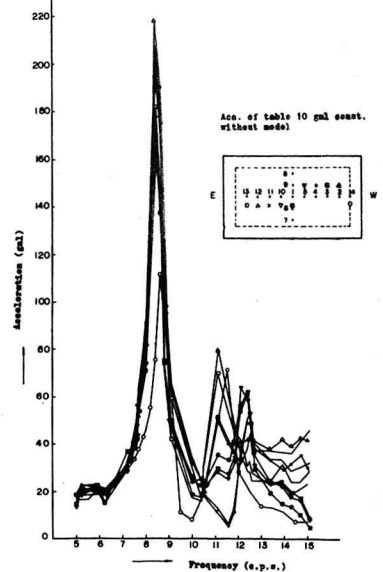
写一 1 ゴム地盤模型

§ 2 ゴム地盤模型実験

1) 地盤模型としては、写一 1 に示されるように $50 \times 50 \times 100$ cm 角のシリコンゴムを用いた。このゴムの弾性係数は $E = 3.5 \text{ kg/cm}^2$ ($\nu = 0.25$) である。この中には圧力計、ひずみゲージを埋設し、地表には加速度計を設置し、中央部に、剛体模型として $\phi 10$ cm の円板上に機械式起振機を取りつけたものを用いた。



図一 2 剛体、地表の動特性



図一 1 地表の動特性

2) 耐震工学上は、一般に、S波による水平振動が重視されるが、地盤や構造物の動特性の本質を検討することには変わりはないので、解析の簡略化等を考慮の上、上下加振を行なった。

この地盤だけ、また剛体も設置したものを振動台により加振した場合と、起振機により直接加振した場合について、剛体の応答や地盤の挙動を観測した。その結果の例を図-1,2に示す。

3) これらの結果の解明を助けるため、静的な载荷試験や若干の計算を行なった。

4) 以上の結果を要約すればつぎのとおりである。

i) 基盤加速度を基準とすれば、剛体の固有振動時の最大応答加速度は1.2倍程度であった。このときの地表加速度は基礎の3~4倍と考えられるので、剛体の最大応答は地動の3~4倍にしかない。したがって、このような場合には、地下どの程度までの地盤を考えればよいかが問題となる。

ii) 剛体の固有振動数が地盤のそれに近くなると、多自由度振動系の特徴である

固有振動数の反撥現象が起っているようである。したがってこのような場合には剛体の特性は地層の特性の連成作用を大きくうけることになる。

iv) 軟弱な地盤では弾性波速度が小さくなるので、地盤内の圧力波の波長が構造物の接地面のある長さになると、波動の効果によって地盤係数は振動数特性をもってくる。したがって、地盤の材質、構成、規模等を考慮の上、剛体の特性を求めていかねばならない。(図-3)

v) 基礎面の圧力分布は Boussinesque 型に近いが、中心部の圧力はこの理論値より小さいので、周辺の応力集中はより大きいものと思われるが、振動数が大きくなると一様分布に近づいてくるので、動的応力は小さくなる。(図-4)

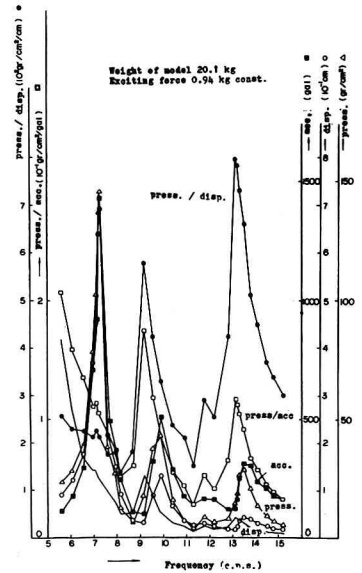


図-3 地盤係数図

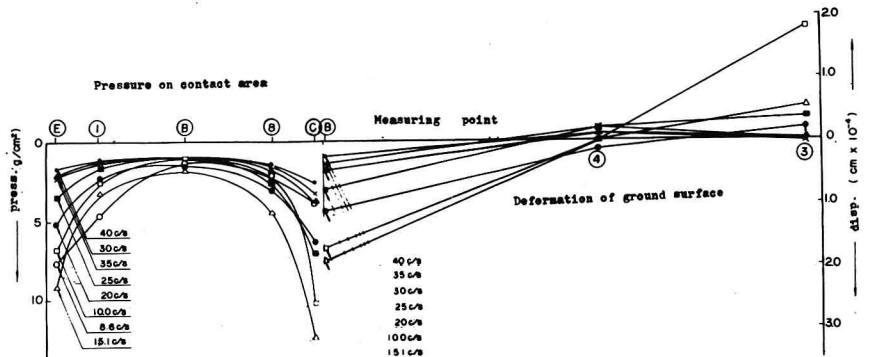
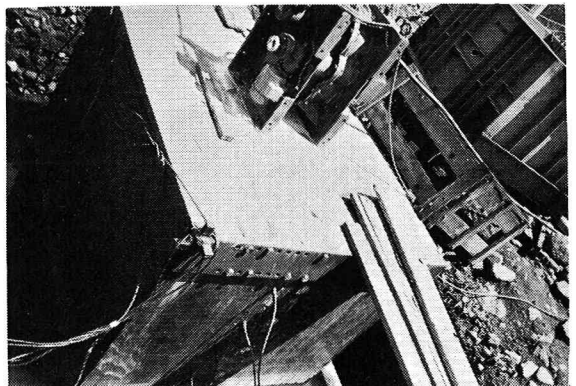


図-4 基礎面動圧力分布図



写-2 コンクリートブロックと起振機

§ 3 コンクリートブロックの試験、観測

1) 剛体模型には、写-2にみられるような1.5 m角の鉄製型枠にコンクリートをつめたものを用いた。この基礎地盤はレキ層であったので、約30 cmの砂を敷き、周りも同じ砂で埋戻した。

2) このブロック上に起振機を設置し実験した結果は図-5に示されるとおりである。この結果から地盤係数を算出するために、図-6のようなモデルを考えたが、この K_h, K_θ を算出するには、地盤の反力を図-7(a), (b)に示されるように仮定し、土圧の観測結果から諸係数($\alpha = k_h/k_v, \beta: k_v$ に対してせん断力の効果として現われる反力の係数)を試算した。

3) 地震観測の結果、最大地動が速度と最大応答加速度とはほぼ同じであったので、図-5に示される3種の埋戻し状態についてパワーを計算したものが図-8であるが、起振実験からえられたピークの振動数との対応ははっきりしない。

4) 前出の α, β を1としてえられた K_h, K_θ を用いて、3種の埋戻し状態について、応答計算を行なったものが、図-9中の(C)である。この図中の(A)はこの計算に用いられた実地震の入力であり、(B)が剛体で測られた応答である。(D)は(C)に用いられた K_h, K_θ をおのおの4倍して計算された結果である。

5) これらの結果を要約すれば、つぎのとおりである。

i) 周囲を埋戻すと、最大応答だけからははっきりしないが、応答計算や起振実験の結果から、支持剛性(K_h, K_θ)と減衰性を大きく増加させることが認められる。

ii) 起振実験による定常状態からえられる支持剛性と地震応答時の過渡状態からえられる支持剛性とを比較すると、後者をかなり大きなものと考えないと応答の説明が

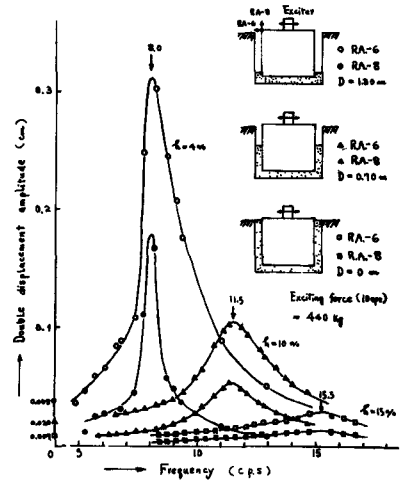


図-5 共振曲線図

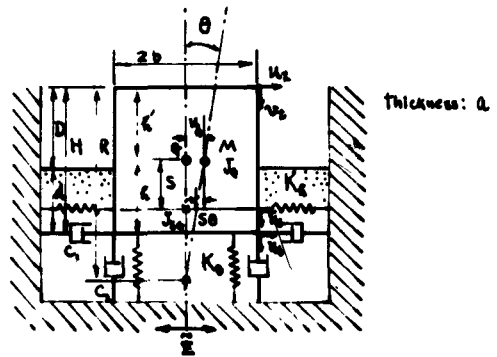


図-6 ロッキング振動系モデル化図

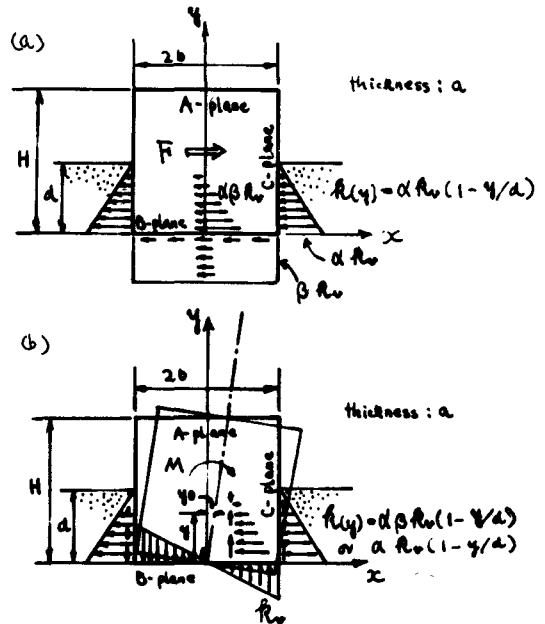


図-7 K_h, K_θ 算出図

つかない。これはえられた地震が小さいため、支持剛性が振巾による非線型性の影響を受けることも考えられるが、繰返し長時間載荷される起振実験時と、短時間過渡的な荷重を受ける地震時との地盤が示す過渡特性の差によるものが大きいものと考えられるので、地盤の非線型性を含めて過渡特性を把握していくことが必要である。

iii) 小規模な剛性では、 k_v が求まり、 α 、 β が推定されれば、前出の方法で K_h 、 K_θ を算出し、この値を用いることにより、応答はかなり精度よく求まる。

§ あとがき

小規模のものについては、仮想質量等を見無視しても、最適 k 値を見出すことによって、精度よく応答がえられる。

しかし、大規模な構造物によると、波動の影響によって、いろいろな現象を起し、地層の構造や弾性によっては、地盤

の固有振動数さえ変えてしまうことがありうることに注意しなければならない。

また、埋戻し効果として、同じ起振力に対する応答は非常に小さくなることが認められたが、また、地震入力も大きくなり、耐震上不利と考えられる場合もありうるので、これらの得失についての検討が必要である。

未筆ながら、東京電力、中部電力、電力中央研究所の多くの方々に絶大な御指導、御支援を載いたことを記し、深甚なる謝意を表したい。

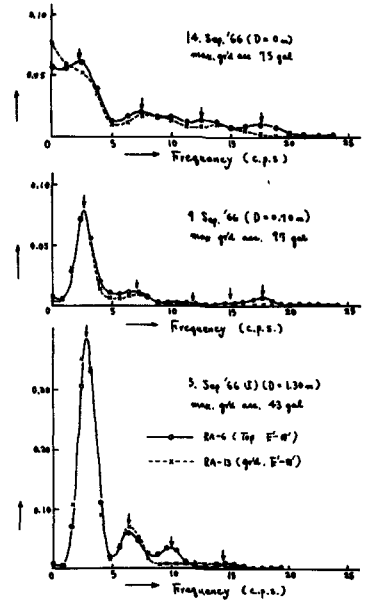


図-8 パワースペクトル図

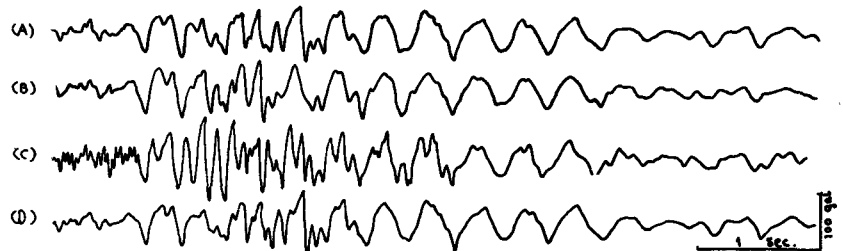


図-9(a) $D = 1.30$ m 時の地震記録, 応答計算結果

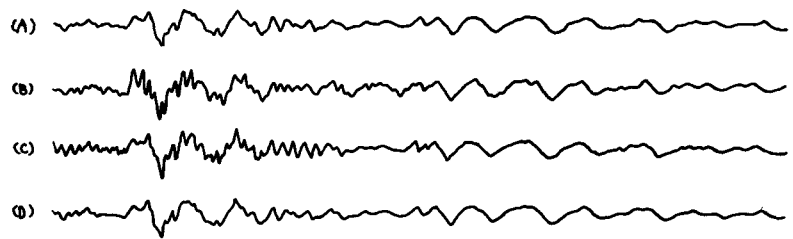


図-9(b) $D = 0.70$ m 時の地震記録, 応答計算結果

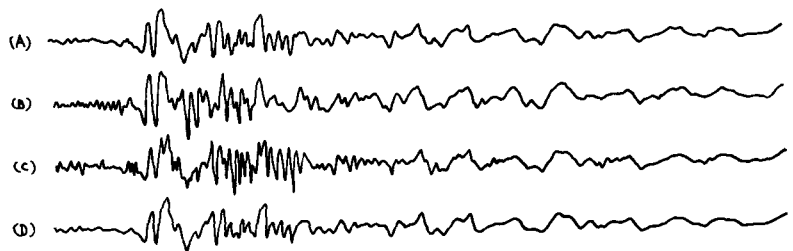


図-9(c) $D = 0$ m 時の地震記録, 応答計算結果