模型実験による剛体の動的挙動からみた基礎地盤の非線形性

宮崎大学　工学部　学生員○杉本　一隆
宮崎大学　工学部　正　員　堤　　一
宮崎県企業局　　　正　員　内川　龍男

1. まえがき

重要な構造物の耐震研究において、構造物の地震時挙動と基礎地盤の破壊とが大きな問題となっている。これらの検討は、シミュレーション計算によっていろいろ行なわれているが、その結果は、実物によって実証されることが望ましい。しかし、実証できる機会はきわめてまれと考えられるので、本研究では、模型実験による接近を考え、そのための地盤模型を試作し、実用性について検討を行なった。

2. 実験方法

バイリニアに近い特性をもつ模型地盤を作るため、地盤材料には弾性をもつようにゴムの球体（硬度３０度、直径１０ｍｍ）を用い、その間隙にはゴム球体間の摩擦力を増減させるためにグリスを詰めた。キャンバスで作った円筒を使用して地盤模型を作り、円柱の剛体を載荷した。模型の概要を図－１に示す。

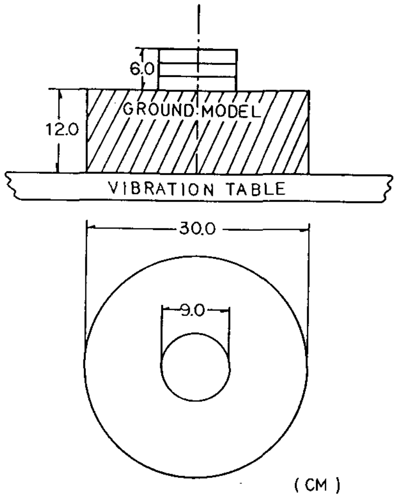

FIG.1　BUILDING－GROUND MODEL

3. 実験結果

正弦波加振時の応答加速度のグラフから得られたスケルトンの一例を図－６中の一点鎖線で示す。これは、軟化形の非線形性を示している。また、エルセントロ波の他に人工地震波を用い、入力加速度・卓越周期を広範囲に変えて振動台の入力とし、加速度の応答倍率をグラフに示したものが図－２である。入力が大きくなると倍率は小さくなり、さらにバラツキも小さくなることが認められる。

次に模型地盤の静的くり返し載荷試験を行なった。鉛直の載荷試験では実際の岩盤にみられるように硬化ばねの特性が認められたが、底面に回転力を載荷する試験では図－３のような結果が得られ、軟化ばねの特性が認められる。

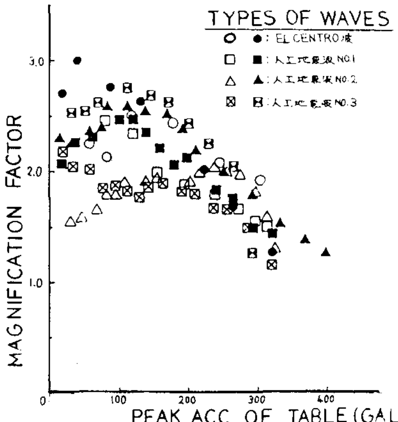

FIG.2 RELATION AMONG PEAK ACC., MAGNIFICATION FACTOR AND TYPES OF WAVES

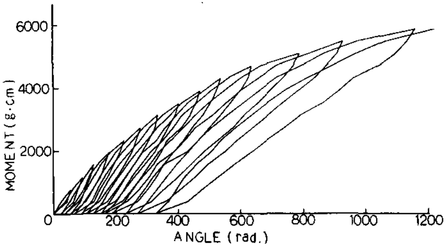

FIG.3 LOAD TEST

4. 数値シミュレーション

図－４は模型地盤をばねとして数値モデル化したものである。ロッキング振動における水平、回転方向のつり合い方程式を図－４の記号を用いて

$$\left.\begin{aligned}&(\text{水平})\quad M(\ddot{x}_N+H\ddot{\theta})+ab\,f_N(x_N)=-M\ddot{z}\\&(\text{回転})\quad J_G\ddot{\theta}+2b\sum_{r=1}^{N-1}f_r(S_r\theta)\cdot S_r\cdot\Delta S_r-ab\cdot H f_N(x_N)=0\end{aligned}\right\}(1)$$

とし

復元力と変位の関係を図－５に示される記号を用いて

$f_r(x)=(1-n)kx \pm n_e k(x_y \mp x_0)$ ………(2)とする。

x_y ；降伏変位　　n；弾塑性傾斜率　　n_e；n

x_0 ；塑性変位（速度が変わる位置の変位）

Q_y ；降伏せん断力　　k；初期剛性

(2)式を(1)式に代入し、線形加速度法によって正弦波外力による応答を求めた。異なる外力に対する計算応答値を示したものが図－6である。この結果とこの模型地盤の復元力を、バイリニアで近似したもので実験結果を模擬できることが確認された。

5. 考察

(1) すべての模型実験結果が示すように、地盤は軟化形のばねをもつことが明らかとなった。

(2) この復元力特性の近似法はいろいろ考えられるが、ここではもっとも簡単なバイリニアヒステリシス形の数値モデルを採用し、実験結果への適用を検討したところ、かなりよく近似できることが確認された。

(3) 今後の問題であるが、実岩盤の復元力も類似のバイリニアモデルで表現できるならば、この模型実験によって定量的には困難であっても、実物の非線形領域内の挙動をかなりの程度はシミュレートできるものと考えられる。

(4) 実物の岩盤の力学特性も、詳しくみれば、千差万別であるため、これらと模型地盤のそれとの相似性について今後解明しなければならない問題は多いが、対比すべき問題を限定すればその近似的解決は可能と考えられる。

6. 結論

(1) 考察に述べたように、今回試作した模型地盤を用いてその上に載荷された構造物の応答を調べた結果は、実地盤上の構造物の挙動を近似的ではあるが模擬するものと判断された。この種の模型地盤は今後の研究に役立つものと考えられる。

(2) この一つの応用例として、限られた範囲のものではあるが、地震波による実験結果から、いわゆる非線形応答スペクトルに該当するものとして図－2が得られており非線形特性は加速度応答に対しては、耐震的に有利に作用することが認められた。変位応答からは不利な面が考えられるため、これも今後の課題としたい。

7. あとがき

本研究は、高温構造安全技術研究組合における「動的機器の地震時機能維持に関する研究」委員会に負うところが大きい。ここに深謝の意を表したい。

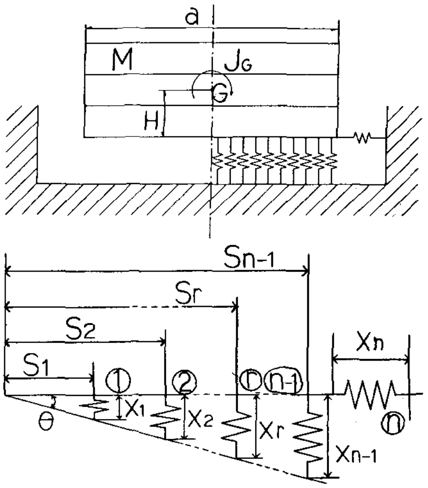

FIG.4 EQUIVALENT SPRING

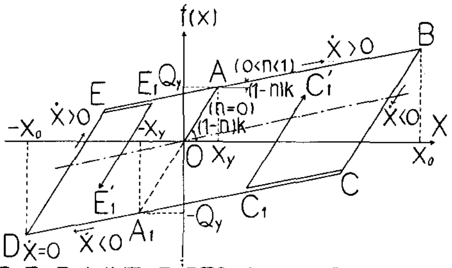

FIG.5 BI-LINEAR RESTORING FORCE

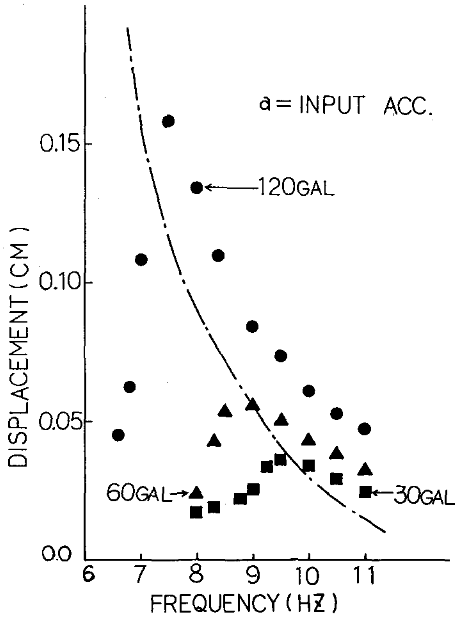

FIG.6 RESONANCE CHARACTERISTICS