

I-B 270 強い上下動がトップヘビーな構造物の水平地震応答に及ぼす影響

東京工業大学 学生員 谷田 哲也

東京工業大学 張 宏遠

東京工業大学 正会員 大町 達夫

1. はじめに

1995年1月17日午前5時46分に発生した淡路島北部を震源とする兵庫県南部地震は、神戸市を中心に非常に大きな被害をもたらした。中でも神戸市東灘区の阪神高速道路のコンクリート高架橋が600mに渡って山側に横倒しになっていたのは非常に衝撃的であった。

地震動での上下動の強さは水平動のおよそ $1/2 \sim 1/3$ と言われ¹⁾、構造物の耐震設計ではふつう鉛直方向の地震動は考慮されていない。しかし、兵庫県南部地震のような直下地震では上下動も大きく、これが高架橋や木造家屋のように頭部重量が大きい、いわゆるトップヘビーな構造物の倒壊に影響したことも考えられる。本研究ではこれを確かめるために室内実験及び数値シミュレーションを行った。

2. トップヘビーな構造物のモデル

本研究では頭部の重量が大きな構造物を1質点系の振動モデルで置き換え、まず水平・上下加振実験を行い定常振動での上下動の影響を調べた。次に非定常振動での上下動の影響を考え、実際の地震動との関連性を調べてみた。振動モデルの質量部分にかかる物体力としては水平動による慣性力、 $p-\delta$ 効果を引き出す自重、そして上下動による慣性力の3つが考えられる。（図-1）

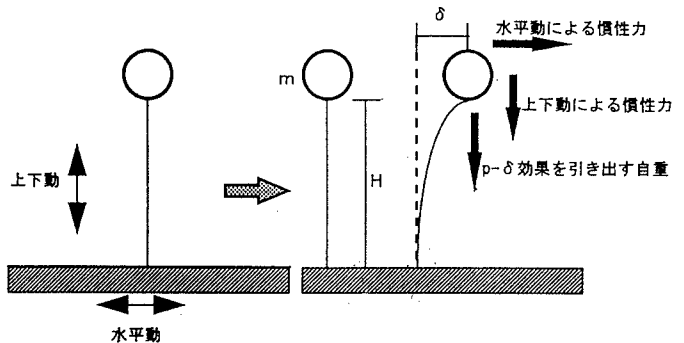


図-1 1質点系振動モデル

3. 室内実験

(1) 実験概要 実験は図-2のように水平振動台と鉛直アクチュエータを使用し、模型に水平動と上下動を与えた。模型にはアルミ材を用いて高さを40cmとし、質量部分は80g程度の鉄塊を使用した。鉛直アクチュエータによる上下加振のみでは水平応答を起しにくいので、最初に水平振動台で模型を水平加振し、水平変位を出したところで上下加振を行った。

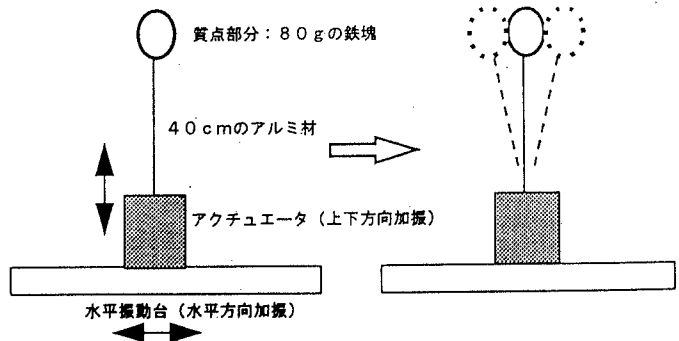


図-2 実験概要

(2) 定常振動による実験結果 水平・上下加振の加速度振幅と振動数をいろいろと変えて実験を行った結果、模型の固有振動数で水平加振し、さらにその2倍の振動数で上下加振すると、模型は激しく振動して応答変位を増し不安定になることが分かった。このことは機械振動論ではMathieuの理論²⁾としてよく知られていることであるが、この実験では水平・上下加振加速度の振幅を増加させると、さらに不安定な状況が進むことも確認できた。

(3) 非定常振動による実験結果 実際の地震動は短時間のうちに起こる現象であり、ここまで述べたような定常振動と考えることは出来ない。そこで、今度は水平・上下加振された模型が定常振動に至るまでの、非

定常振動性状を調べてみた。水平・上下加振により、模型は図-3のように応答加速度を増加していく。実験の結果、短時間で水平応答を増大させるためには、入力上下動には次の3つの条件が必要となることが分かった。

1. 入力上下動の加速度振幅が大きい・
2. 振動数が水平応答の固有振動数の2倍である。
3. 入力上下動の山を水平応答の山あるいは谷に合わせる。

応答加速度
(水平動)

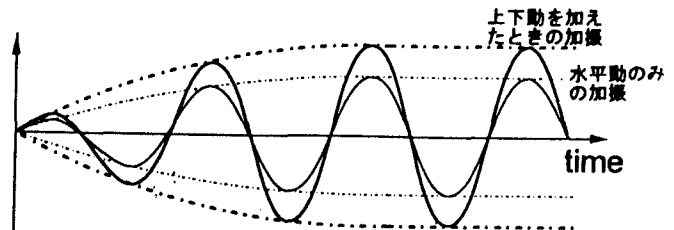


図-3 応答加速度の増加

4. 実際の地震動を用いた数値シミュレーション

実際の地震時にも、水平応答に対して上下動が上述のような関係で入力されたならば、構造物はより不安定な方向に向かう可能性がある。これを確かめるために、トップヘビーな構造物を一質点系でモデル化して、数値シミュレーションを行った。モデルの質点部分の水平方向変位 u については、近似的に次のような運動方程式がたてられる。

$$\ddot{u} + 2 p h \dot{u} + \left(p^2 - \frac{\ddot{\phi}_y + g}{H} \right) u = -\ddot{\phi}_x$$

ここで、 ϕ は x 方向あるいは y 方向の地盤変位を表し、 p, h, H は固有円振動数、減衰定数、図-1 に示す質点の高さである。以下では、深江の阪神高速道路高架橋を想定し p, h, H をそれぞれ 8.0 rad/s ($\approx 1.3 \text{ Hz}$), 5% , 10 m とした。

兵庫県南部地震の際に観測された強震記録のうち、地盤上の18地点で得られたものを選び、上式を用いて1) 水平動のみを入力した場合、2) 水平動と上下動を入力した場合の応答計算を行なってみた。その結果、1) と2) から得られたモデルの水平応答加速度の最大値を比較すると、7地点の強震記録については1)の方が大きく、10地点の強震記録については2)の方が大きくなった。また、2)の1)に対する水平応答最大値の増減は、減少する場合は最大8%減、増加する場合は最大21%増であった。なお、水平応答最大値が5%以上の増加をみせた強震記録については、鉛直方向成分の最大値が水平方向成分の最大値よりも大きく上回っていた。

この結果から、水平動のみならず強い上下動がトップヘビーな構造物に作用する場合、 $p-\delta$ 効果によって水平方向の応答も増幅され、損壊、破壊をもたらす可能性があることが指摘できる。

5. 結論

1. 頭部の重量が大きな構造物の水平応答を対象とし、入力上下動の影響を調べた結果によれば、次の3条件が満たされるとき、短時間で水平応答が増幅する。

- a) 入力上下動の加速度振幅が大きい。
- b) 上下動が水平応答の固有振動数の2倍の振動数で作用する。
- c) 入力上下動の山が水平応答の山あるいは谷に合っている。

2. 兵庫県南部地震の強震記録の中には、上下動が水平応答を20%以上増大させるものがある。

以上より、直下地震の上下動がトップヘビーな構造物の耐震性能に及ぼす影響を更に究明する必要がある。

参考文献

- 1) 土質工学会：土と基礎の物理探査，土質基礎ライブラリー21，1981.6.
- 2) 松平 精：基礎振動学，現代工学社，1973.