

地震時回転動が構造物応答に与える影響に関する研究

金沢大学大学院 ○深谷正俊

金沢大学工学部 正会員 北浦 勝

金沢大学大学院 自然科学研究科 正会員 宮島昌克

金沢大学工学部 正会員 村田 晶

1. はじめに

これまでの地震観測や構造物の耐震設計における入力はほとんど上下および水平2方向の3成分である。しかし、地表面付近では表面波や不整形地盤、隣接する2地点間の上下動の差などの影響による構造物への回転動入力の可能性がある。十分な耐震設計のためには、回転動に関する検討が必要であると考えられる。

本研究では構造物の視点に立った入力地震動として回転動をとらえ、地震波形の上下成分から算出した回転動について考察した。また、構造物モデルに対して回転動、水平動入力実験を行い、回転動が構造物の応答へ与える影響について検討した。

2. 地震記録から算出した回転動

回転動が発生していれば、ある2地点の上下動に差が生じる。そこで、地震記録がとられた2地点間は剛とし、2地点の上下加速度の差を距離で除す方法で回転動を算出する。1987年千葉県東方沖地震($M=6.7$)の平面アレー観測記録¹⁾を用いて算出した回転加速度の一例を図1に、そのフーリエスペクトルを図2にそれぞれ示す。ただし2地点間の距離は5mである。

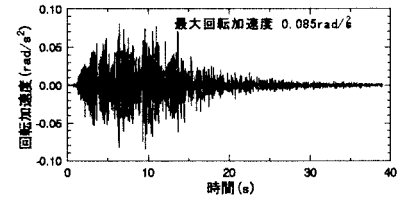


図1 回転加速度時刻歴

図1は回転動を示すとともに、上下動に差が生じたことも示している。この観測地点の地盤は均質である¹⁾にもかかわらず、非常に近い2地点において差が生じている。不均質地盤ではその差が顕著であり、多くの地震において回転動が発生している可能性があると考えられる。また、構造物には回転動と高さの積が水平動として入力されるため、 0.085rad/s^2 という小さな値でも回転動の影響は無視できない。図2を見ると10Hz付近が卓越しており、上下動の卓越振動数とほぼ一致した。つまり回転動は上下動と同じ振動数の範囲にあり、回転動の検討は重要であると考えられる。

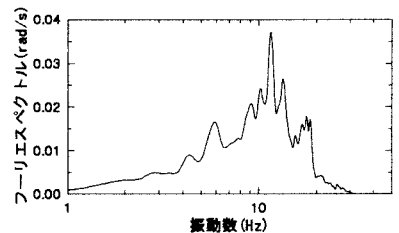


図2 回転加速度のフーリエスペクトル

3. 構造物モデルへの回転動入力実験

本学振動台では回転動を発生できないため、鉄の梁に回転中心となる蝶番を取り付け、振動台からの上下動を回転動に変換し、モデルに入力させる装置を作成した。図3はこの装置を用いた2自由度モデルへの回転動および水平動入力実験の概要図である。モデルの各層は同じ構造を持ち、各層ごとの共振振動数4.5Hzである。各層の1自由度モデルへの回転動入力は、入力される加速度が水平動入力時と一致すれば応答は同じ結果となった。なお2自由度モデルの共振振動数は1次モード2.5Hz、2次モード7.2Hzである。実験は1)1次、2)2次の共振振動数で入力加速度をパラメータにしたものと、2)入力加速度一定で振動数をパラメータにしたものを行った。

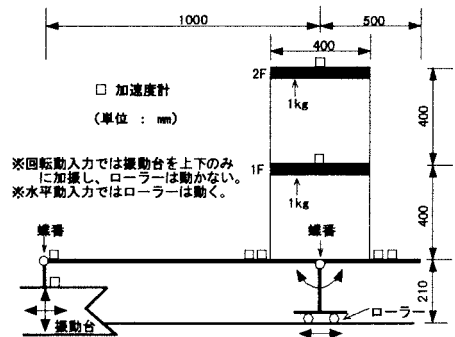


図3 実験概要図

まず、1)の結果について考察する。回転動入力では各層への入力加速度が異なり、その影響でモードごとに作用の形態

が異なると考えられる。そこで、水平動では入力と同じ値を、回転動では1次は回転加速度によって各層に入力される加速度の平均を、2次は2層目と1層目の差の半分をモデルに入力される加速度とした。この入力加速度と応答加速度の関係を1次を図4に、2次を図5にそれぞれ示す。

モデルには減衰器がないため、両図とも応答加速度が大きく、また傾きが直線的でなく非線形性が見られる。しかし、入力方法が異なっても応答値が描くカーブはほぼ同じと判断でき、この影響は顕著ではないと考えられる。上述のような入力加速度の算出をすると、回転動と水平動の結果がほぼ一致し、モデルの高さを考慮することにより、次元の異なる回転動と水平動の影響が比較できる。各層の構造は同じであり、各層の高さを h (cm)とすると、回転加速度 a (rad/s²)は1次では水平動 $15ah$ (gal)に、2次では $0.5ah$ (gal)に相当する。言い換えれば、回転動の影響力が1次は2次の3倍であるといえる。

つぎに2)の結果について考察する。回転動では各モードと水平動とを同時に比較できる入力加速度の算定ができないため、図6に示すような2Fと1Fの応答加速度の振幅比の変化を考える。同図、回転動入力の6Hz付近の矢印は図中に示した以上の値を意味する。また、入力に対する応答の位相角の変化を図7に示す。

図6を見ると、1次、2次モードの振幅比は入力の種類が異なってもほぼ同じ結果を示している。しかし、振動数に伴う振幅比の変化が逆である。図7では、1次モード以降において1Fと2Fの位相角に差が生じ始める振動数が異なっている。加えて、約5Hz以上では、入力に対する各層の位相角が水平動と回転動では全く逆となっている。水平動は各層の入力に差がないが、回転動は高い位置ほど大きな加速度を入力するため、差が生じる。その差が、各層が逆位相で挙動する2次モードへの遷移過程で、2Fには水平動の場合に比して大きな抵抗力として働いていると考えられる。その結果、振幅比が水平動とは逆になり、位相角に差が生じ始める振動数に違いが生じたと考えられる。また、回転動は1自由度のような動きである1次モード的な挙動を持続しようとするから、2Fだけを質点のようにとらえていると考えられる。そのため1次モード以降、2Fの位相角が1自由度のように0~180°で変化することになり、位相角が水平動とは逆になったと思われる。

4. おわりに

本研究では上下動から回転動を算出し、その検討の重要性を示した。そして、実験から回転動入力力は構造物モデルの1次モードへの影響が大きいことがわかった。今後は回転動入力力が構造物応答に与える他の影響も検討していくつもりである。

参考文献

- 1) (財) 震災予防協会 強震動アレー観測記録データベース推進委員会：強震動アレー観測記録データベース，1992。

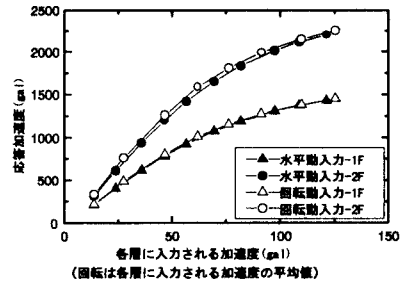


図4 1次モードにおける応答加速度

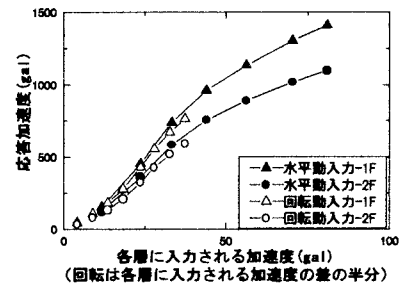


図5 2次モードにおける応答加速度

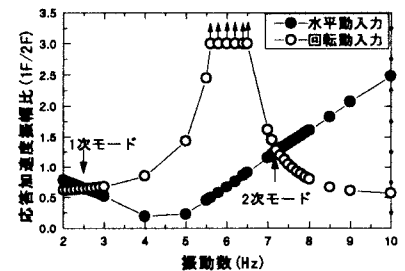


図6 応答加速度振幅比の変化

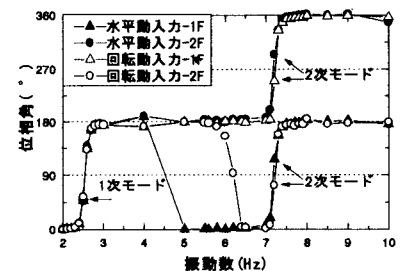


図7 入力に対する各層の位相角