

長周期地震動が RC 構造物の応答に及ぼす影響

名古屋大学工学部 安藤 嵩久
 名古屋大学大学院 正会員 上田 尚史
 名古屋大学大学院 正会員 中村 光
 名古屋大学大学院 正会員 国枝 稔

1.はじめに

近年、2003 年十勝沖地震に代表されるような長周期の波動成分が卓越した地震動による構造物の応答に及ぼす影響が注目されている。特に固有周期の長い高層建築物や長大橋などは長周期成分の卓越した地震動と共振を起こす可能性が考えられ、地震時の挙動を把握する必要がある。そこで本研究では固有周期の長い、RC 橋脚を対象として、比較的周期の短い内陸型地震動と、長周期成分を含む海洋型地震動による応答を解析的に評価し、長周期地震動が RC 構造物の応答に及ぼす影響を検討した。

2.解析概要

本研究では、ファイバーモデルによりモデル化した 3 次元 12 自由度を有するはり要素の非線形有限変形理論に基づく解析手法¹⁾を用い、材料非線形性のみならず、幾何学的非線形要因をも考慮した解析を行った。構造物が地震動を受ける場合の多自由度の運動方程式は、一般的に式(1)のように表される。

$$[M]\{\ddot{y}\} + [K] + [K_g]\{\dot{y}\} = -[M]\{\ddot{y}_0\} \quad (1)$$

ここで、 $[M]$ 、 $[K]$ 、 $[K_g]$ は、それぞれ構造物の質量マトリクス、剛性マトリクス、幾何剛性マトリクスである。式(1)に対して、数値積分は Newmark の β 法を用い、 $\beta=0.49$ とすることで数値減衰を考慮した。

なお、解析は Updated Lagrange 法に基づき逐次座標変換を行いながら行った。

3.解析対象および解析モデル

解析対象とした橋脚を図-1 に示す。解析対象は、既存の高橋脚を有する RC ラーメン橋の中空 RC 高橋脚²⁾を参考にして、橋脚断面および橋脚高さを決定した。既存橋脚では柱高さ方向に断面寸法が変化するが、モデルでは簡単の為に、高さ方向に図-1 に示す一定の断面を有すると仮定した。また柱には、断面内に 1N/mm^2 の軸応力が生じる軸力が作用すると仮定し、柱頂部に一定の軸力を作用させるとともに、軸力に相当する質量を柱頂部に与えた。本解析では、解析モデルを柱下端固定としたファイバーモデルにより、軸方向に 20 要素でモデル化した。また、要素断面のファイバー分割は加振方向に 85 分割、加振直交方向に 60 分割とした。本解析に用いたコンクリートの材料定数は、圧縮強度時のひずみを 2000μ 、圧縮強度を 50MPa とした。鉄筋は D51、D38 とともに降伏強度は 685MPa 、ヤング係数は $2.1 \times 10^5 \text{MPa}$ とした。

4.Push-over 解析による静的構造特性

柱頂部の変位を制御することにより水平荷重を作用させ、解析モデルの静的構造特性の評価をおこなった。図-2 に載荷点変位と、荷重と自

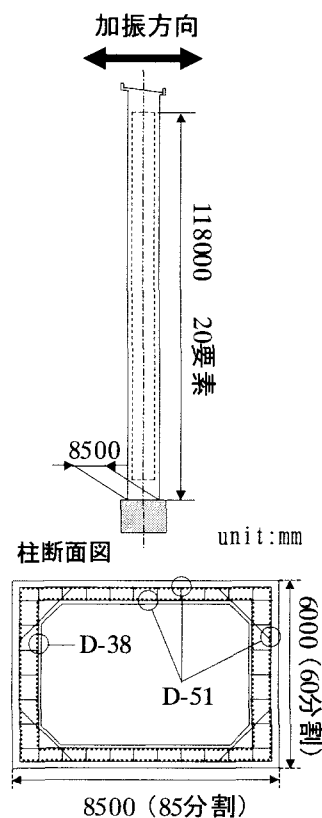


図-1 解析対象

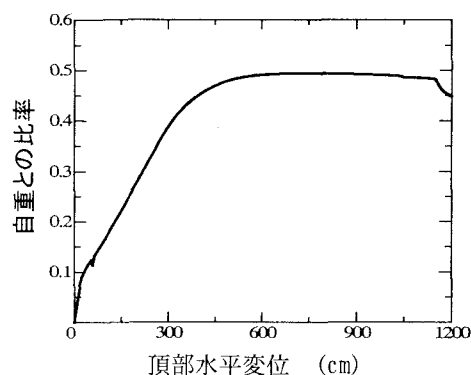


図-2 荷重-変位関係

重との比率の関係を示す。図より、変形が 300cm を越えた辺りから徐々に剛性が低下し、部材が降伏しており、さらに 600cm 辺りになると荷重が低下していくことから、この構造物は臨界点を迎えたことが分かる。

5.地震応答解析

地震応答解析の地震動は、土木学会コンクリート標準示方書耐震性能照査編³⁾に示されているレベル 2 地震動の内陸型および海洋型の時刻歴加速度波形を用いた。図-3 にそれぞれの加速度波形を示す。また内陸型の時刻歴加速度波形を入力した場合の柱頂部の時刻歴応答変位を図-4 に、海洋型の時刻歴加速度波形を入力した場合の時刻歴応答変位を図-5 に示す。

内陸型地震動入力の場合、地震動入力後およそ 3 秒において 500gal を越える入力加速度が作用した後に、頂部の変位は単調に増加していき、解析上終局に至った。また図-6 に内陸型地震動を入力した場合の、図-4 に示す各点での変形図を示す。柱高さ中央部付近から変形が増大する挙動を示し、終局に至る結果となった。

一方、図-5 に示す海洋型地震動入力時の時刻歴応答変位は、入力加速度が 300gal を越え最大となる 20 秒前後において、頂部の変位は 50cm 程度であり弾性範囲内である。しかし、入力加速度が 100gal 程度である 35 秒辺りで変位が増加していき、終局に至る挙動を示した。これは最大加速度付近では、入力波の卓越周期が柱の固有周期に比べ小さいため応答が増幅されなかったが、35 秒辺りにおいて、入力波の長周期成分が卓越し、柱が共振したためであると考えられる。また図-7 に海洋型地震動を入力した場合の、図-5 に示す各点における変形図を示す。内陸型地震波を入力した場合と同様に、柱高さ中央付近から変形が増大する挙動を示している。

6.まとめ

固有周期の長い構造物に長周期成分の卓越した地震動が入力された場合、最大入力加速度を越えた後、加速度が比較的小さくなった場合に大きな応答を示すことが確認された。今後は実構造物を対象とした解析を行うことで、長周期地震動が構造物全体系の応答へ及ぼす影響について詳細な検討を行っていく予定である。

＜参考文献＞

- 1) 中村光：コンクリート構造のポストピーク挙動に関する解析的研究，名古屋大学博士論文，1992
- 2) 水口和之ら：高強度鉄筋，高強度コンクリートの高橋脚への活用，コンクリート工学 vol.36, pp.37-40, 1998
- 3) 土木学会コンクリート委員会：コンクリート標準示方書（耐震性能照査編），2002

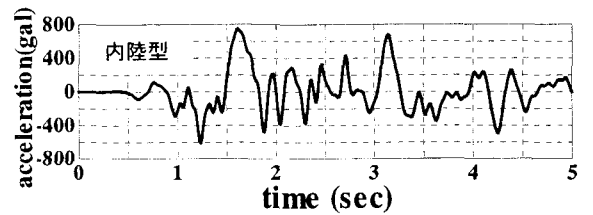


図-3 入力加速度波形

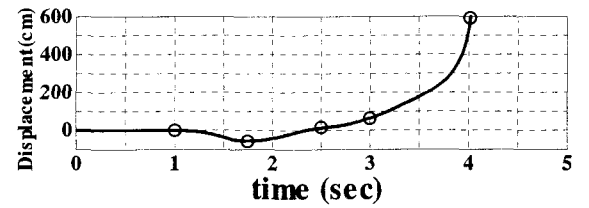


図-4 時刻歴応答変位（内陸型）

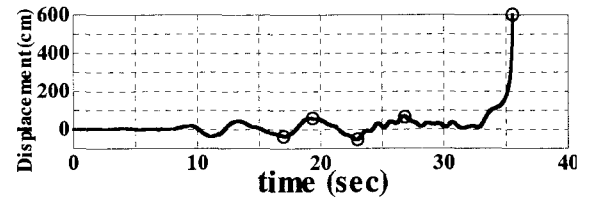


図-5 時刻歴応答変位（海洋型）

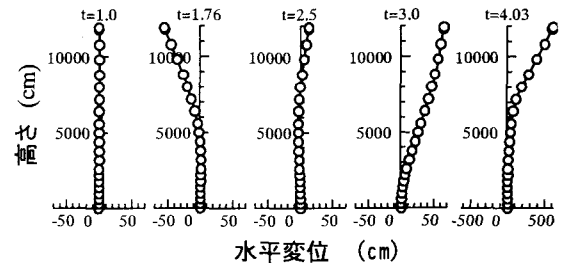


図-6 変形図（内陸型）

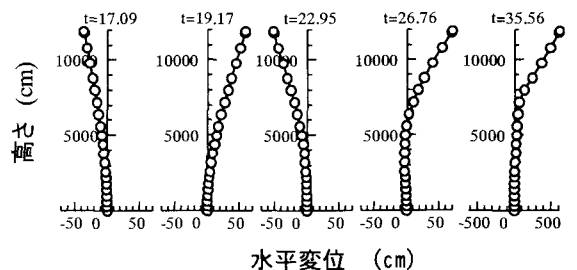


図-7 変形図（海洋型）