

水平・鉛直二軸同時加振によるRC橋脚モデルの動的損傷評価に関する解析的研究の一考察

(株)千代田コンサルタント 正会員○秋山 芳幸

中部大学工学部土木工学科 大嶽 秀暢

中部大学工学部 フェロー会員 平澤 征夫

1. はじめに

兵庫県南部地震では、数多くの RC 橋脚が損傷・倒壊した。この原因として、非常に大きな水平地震動、横拘束鉄筋量不足、施工不良などによる欠陥など諸説考えられ、多くの研究者の研究により耐震設計が大きく見直されている。同様に筆者らは「従来の地震に比べ非常に大きな上下地震動（最大地震加速度 332gal）」が損傷・倒壊に関係しているものと考え、神戸海洋気象台観測の兵庫県南部地震波形を入力波とした水平一軸加振、水平・鉛直二軸加振による振動台実験を行い、その結果から上下地震動が RC 橋脚の損傷程度やその過程、力学的特性（耐力や靱性など）などに及ぼす影響を実験的に明らかにしてきている^{1) 2)}が、解析的検討を行って上下地震動の RC 橋脚への影響要因を明らかにするには至っていない。

従って本研究では、上下地震動の RC 橋脚への影響要因を明らかにすることを目的として、振動台実験の入力波を用いて部材の非線形特性を考慮した時刻歴応答解析（非線形動的解析）を行っており、本稿はこれまで得られた成果について報告するものである。

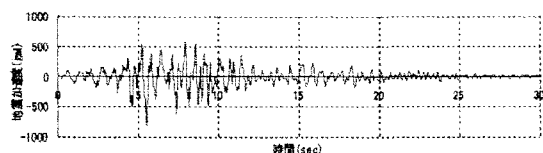
2. 解析及び実験概要

2.1 実験概要

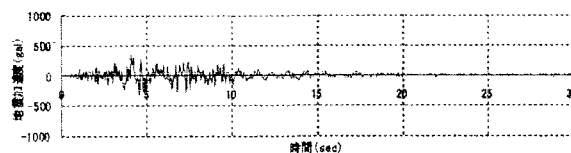
実験の計画や方法といった概要については、参考文献 1), 2) など筆者らの既発表論文を参照するものとし、本稿では詳細な説明は省略する。

2.2 入力地震波

振動台実験及び非線形動的解析で入力する地震波は、図-1 に示す神戸海洋気象台観測の兵庫県南部地震加速度波形の南北 (NS) 方向と鉛直 (UD) 方向のものであり、振動時間は 30 秒、最大地震加速度は NS 方向が 818gal, UD 方向が 332gal である。



(a) NS 方向



(b) UD 方向

図-1 兵庫県南部地震加速度波形（神戸海洋気象台観測）

2.3 RC 橋脚モデル

RC 橋脚モデルの諸元を図-2 に示す。脚柱部の断面は 150×150 mm、高さは 1110 mm、慣性力作用位置までは 985 mm で、軸方向鉄筋に D10 (SD345) を 8 本（軸方向鉄筋比 2.54%）、帯鉄筋に D6 (SD345) を 100 mm ピッチ（横拘束鉄筋体積比： $\rho_s=1.3\%$ ）で用いた。

2.4 解析概要

本研究で行う非線形動的解析は、一般的な耐震設計への適用も考慮し、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編に基づき、市販のプログラムを用いて行うものとした。

(1) 解析手法

脚柱部に非線形特性を考慮した数値積分法による時刻歴応答解析で行う。

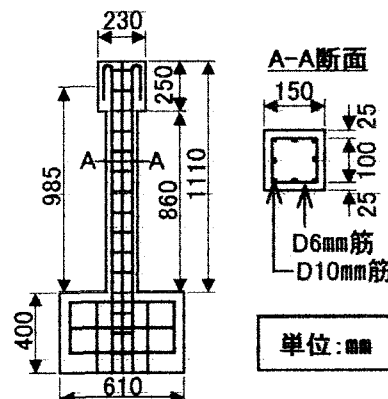


図-2 RC 橋脚モデルの諸元

数値積分法は Newmark β 法 ($\beta=1/4$ 法) とし、積分間隔は 0.02 秒である。

(2) 解析モデル

図-2 に示した RC 橋脚モデル平面骨組構造モデルによりモデル化した。従って、軸力変動は考慮していない。脚柱部は非線形はり部材、基礎部は剛部材とする。塑性ヒンジ部は脚柱下端に塑性ヒンジ長に等しい塑性領域を設け、その中央部に非線形回転バネをモデル化した。支持条件は固定とした。

(3) 非線形部材の復元力特性

一般的な耐震設計に用いられている剛性低下型 ($\alpha=0.4$) のトリリニアモデル (武田モデル) とした。

(4) 減衰定数

一本柱の単純モデルのため、主要な振動モードに着目できるよう、Rayleigh 減衰は適用せず部材ごとに要素剛性比率剛性 (非線形部材: 2%, 線形部材: 5%) を用いて解析を行う。

(5) 使用した電算プログラム

TDAPⅢLT: 非線形 3 次元動的解析プログラム (株式会社アーク情報システム)

3. 実験結果概要

筆者らがこれまで行ってきた水平一軸加振 (KHT=Kobe Horizontal Tabletest), 水平・鉛直二軸加振 (KVHT=Kobe Vertical and Horizontal Tabletest) による振動台実験の結果から上下地震動が RC 橋脚の損傷程度やその過程, 力学的特性 (耐力や靱性など) などに及ぼす影響として主として次のことが明らかになっている (図-4 に KHT 及び KVHT の最大応答荷重～最大応答変位包絡線図を示す)。

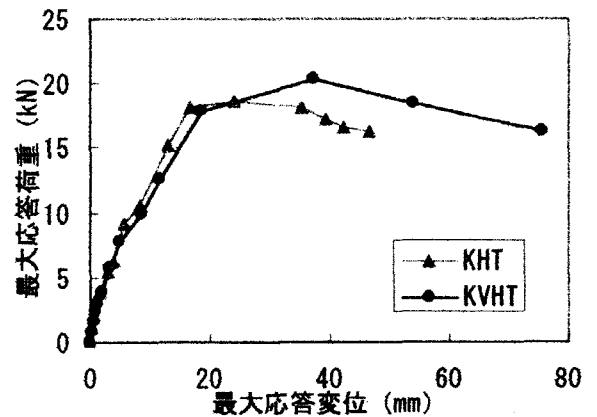


図-4 最大応答荷重～最大応答変位包絡線図

①部材降伏に至るまでの応答値及び損傷の進行は、KVHT

よりも KHT の方が早く進行する。これは上下地震動による軸力変動により曲げモーメントの作用位置が変動し、ひび割れ損傷が一部分 (柱基部) に集中しなかったためと考えられる。

②最大荷重点後に KHT では曲げ破壊のモデルが KVHT ではせん断破壊に近い破壊となった。これは、KVHT の部材降伏が KHT よりも遅いため=曲げ耐力が向上するため、破壊形態がせん断破壊型に近づくためであると考えられる。

4. 解析経過及びまとめ

実験のように加振段階を徐々に増加させる方法による解析を試みたが、剛性低下の引継方法の設定に難があったため、これまでのところは加振段階は考慮せず、等スケールの入力波による解析を水平地震動のみの入力、水平・上下地震動同時入力で解析を行っている。ここで得られた最大応答加速度 (=最大応答荷重) の比較では、その値及び時刻歴変化に違いはほとんど見られず、一般的な耐震設計に基づいた非線形動的解析においては、上下地震動の影響はほとんど表れないことを把握した。これは、一般的な耐震設計に基づいた解析モデルが、水平地震動のみを考慮したものであり、特に軸力変動などを考慮しなかったための結果であると判断できる。

従って、今後はまず、上下地震動による軸力変動を考慮した解析モデルによる解析を行い、解析における上下地震動の影響を把握した後、実験のような加振段階を考慮した解析を行い、実験結果との比較から上下地震動が RC 橋脚に及ぼす影響の要因を明らかにしていく必要がある。

参考文献

- 1) 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要集, V 部門, pp736-737, 2001. 10.
- 2) 土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集, V 部門, pp - , 2003. 09.