

(I-37) 非線形動的解析によるRC橋脚の応答特性のパラメーター解析による評価及び考察

○古屋 美伸¹・吉田 孝志²・西山 文男³

¹正会員 富士技研センター株式会社(〒150 東京都渋谷区東1-22-11渋谷三信ビル6F)

²富士技研センター株式会社

³フェロー会員 富士技研センター株式会社

1. まえがき

兵庫県南部地震による被災を教訓として規定された「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」を基本に、平成8年11月道路橋示方書耐震設計編(以下、改訂耐震編という)が改訂出版された。改訂耐震編では、動的挙動しかも非線形挙動の正確な把握が強く求められており、更には入力地震波についても従来のブレート境界型のタイプI地震動に、兵庫県南部地震を基準とした内陸直下型のタイプIIの地震動が追加された。

この2つの地震波のタイプは、性質が大きく異なっており、改訂示方書に示す応答スペクトルに対応する振幅調整地震波を入力した時にどのような応答特性を示すのか、これから問題となる。特に免震設計の場合は、橋脚の非線形性も踏まえ、性質の異なるタイプI、タイプIIの地震波の何れに対しても免震効果を得ることが必要となるため、その諸元設定もより複雑となってくる。本報告は、以上を踏まえ標準的なRC橋脚に着目し、入力地震波、支承条件、地盤種別をパラメーターとし、非線形動的解析により非線形挙動の把握及び応答特性の評価・考察を行い、今後の耐震設計の基礎資料とすることを目的としたものである。

2. 解析手法

非線形部材の取り扱いとしてRC橋脚軸体のM-φ曲線は、トリニア型の剛性低下を考慮した武田モデルを、免震支承は1次剛性と2次剛性を有するバイニア型履歴モデルを用いた非線形モデルを用いるものとした。

解析法は、パソコン利用により設計者が比較的容易に内容理解とプログラミングが可能なように、(1)式の離散型の運動方程式に、階差法を適用し、常微分方程式をルンゲ・クッタ法により逐次的に解く方法を採用している。尚、減衰は(2)式のRayleigh減衰を用いるものとした。

$$M\ddot{v} + D\dot{v} + Bv = M\ddot{Z} \quad (1)$$

$$D = C_d \omega M + C_d \alpha B \\ = P_* \cdot h_* \cdot M + \frac{h_*}{P_*} B \quad (2)$$

ここに、
M: 質量行列 D: 減衰行列 B: 剛性行列
 $v(t)$: 変位ベクトル \ddot{Z} : 入力加速度

P^* : 主要な円振動数

h^* : 期待される減衰定数

3. 解析諸元

1) 上部構造形式: 3径間連続鋼筋桁橋
(支間長30.0m+40.0m+30.0m)

2) 下部構造形式: 張出し式橋脚

3) 基礎形式 : I種地盤(直接基礎)
II種地盤(抗基礎鋼管杭Φ800n:9本)
III種地盤(抗基礎鋼管杭Φ800n:9本)

4) 減衰定数	:	分散支承	$h = 2\%$
		下部構造	$h = 2\%$
		基礎構造	$h = 20\%$

図-1に橋脚のモデル図、表-1にI種地盤の解析諸元、図-2にI種地盤の入力加速度波形を示す。

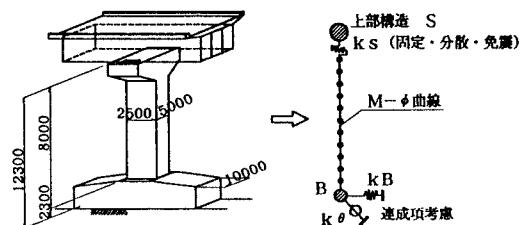


図-1 解析モデル

表-1 I種地盤の解析諸元

上部重量	$M_u = 565tf$		
	はり重量	柱重量	アーチ重量
下部重量	75.3tf	250.0tf	529.0tf
基礎バネ	水平(tf/m)	連成項	回転(tf·m/rad)
	2.7233E+05	-----	6.81507E+6
ひびわれ	降伏	終局	
$M_c(tw)$	曲率	$M_y(tw)$ 曲率	$M_u(tw)$ 曲率
1847	1.093E-4	3256	8.678E-4 3911 0.396E-1
支承	分散	$K=1844tf/m$	
	免震	$K=6471tf/m$	$K=996tf/m$
		$Q_d=52tf$	

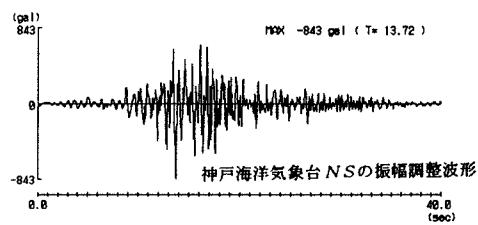


図-2 I種地盤の入力加速度波形

4. 解析結果

図-3は線形応答と非線形応答の違い並びに免震効果をみるために、I種地盤、タイプII地震波を用い支承条件及び橋脚剛性(線形、非線形)をパラメーターとした場合の応答結果を示したものである。固定の弾性応答1673galは橋脚の非線形効果(応答塑性率 $\mu_p=9.3$)により609galに低下している。一方免震については、橋脚が非線形域に若干入っているものの、その殆どが免震効果により442galまで低下していることが判る。図-4、図-5に、免震支承の応答解析結果を1例として示す。

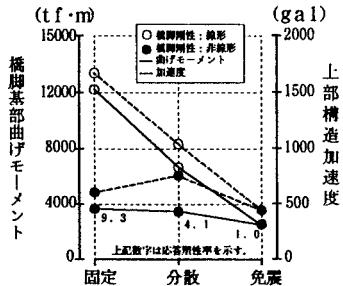


図-3 非線形特性と免震効果

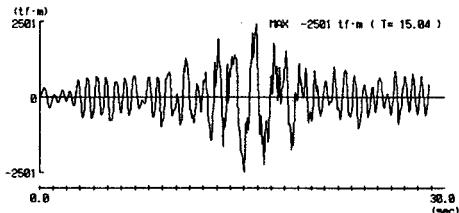


図-4 橋脚基部曲げモーメント時刻歴波形

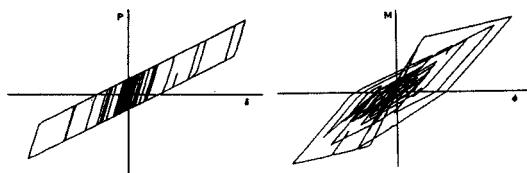
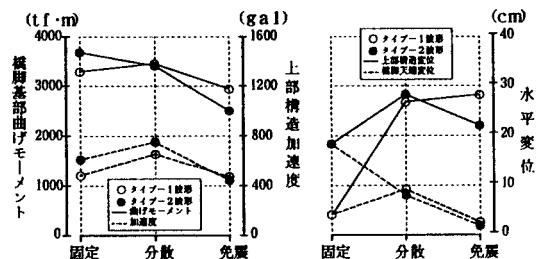


図-5 橋脚基部M-φ及び免震支承の履歴

図-6はI種地盤で地震波、支承条件をパラメーターとして非線形（橋脚と免震支承）解析により地震波及び支承条件の影響をみたものである。

基部モーメントに着目すると、タイプIは分散が固定より大きく、免震で若干低減しているもののその効果はありません。分散が大きくなるのは、固定に比べ1次モード減衰が小さいことに起因するものである。タイプIIに対しては、固定に比べ分散で93%に、免震で68%にそれぞれ低減され、免震の効果が非常に多く出ている。同じ免震支承を用いながらタイプIとタイプIIで免震効果が大きく異なることが判る。



(a) 橋脚基部曲げモーメント上部工加速度 (b) 上部工水平変位
図-6 入力地震動、支承条件の違いに伴う応答値への影響

次に図-7は、地盤種別と地震波をパラメーターに免震効果をみたもので、橋脚基部曲げモーメントと上部工水平変位を絶対量として示したもので、グラフ内の数値は固定の応答値を1とした場合の免震支承の応答比率を示したものである。地盤種別、地震波別の何れについても応答比率（0.67～0.89）に変動があるものの免震効果が出ていることがわかる。当然ながら長周期化の程度により応答比率は変わってくる。

これより、タイプI、タイプII地震を包括し、地盤種別に関係なく免震効果を得ることが可能と言える。

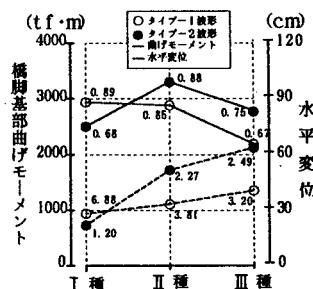


図-7 地盤種別及び地震波の違いによる免震効果

5.まとめ

入力地震波、支承条件及び地盤種別をパラメーターに非線形的解析により、その挙動及び応答特性について調べたが、その結果をまとめると次のようになる。

- (1) I種、タイプIIの条件で応答塑性率（図-3）をみると固定は $\mu_r = 9.3$ 、免震は $\mu_r = 1.0$ で、免震は支承の履歴減衰が圧倒的であり、このような場合に免震効果が高く、変形挙動も明確である。
- (2) タイプIとタイプIIは地震波の性質が異なるため、両波形を包括して効果が出せる免震支承諸元設定が必要であり、その場合タイプIとタイプIIの応答スペクトルから長周期化設定ゾーンが重要となる。
- (3) 免震支承の長周期化は、固定に対し2倍程度が目安となっているが、固有周期の短いI種地盤に対しては、さらに長周期化しないと免震効果が得られづらい場合がある。
- (4) 分散支承を使用する場合は、当該報告のタイプIの場合のように、固定支承より大きな応答を与える場合（1次モード減衰が小さい）があるため、周期、減衰を踏まえての諸元設定が重要となる。
- (5) タイプI及びタイプII地震を包括し、地盤種別に関係なく免震効果を得ることが可能である。ただし、上部工変位が大きくなることに留意する必要がある。

参考文献

- 1) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料（案） 平成7年6月
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V・対震設計編 平成8年12月
- 3) (財) 土木研究センター：建設省 道路橋の免震設計法マニュアル（案） 平成4年12月
- 4) 上原 七司：構梁の耐風・耐震 森北出版（株） 1982. 1 1
- 5) 上原 七司：コンピューターによる構梁と構造の振動解析
- 6) 土木学会：動的解析と耐震設計編〔第1巻〕 地震動・動的物性 技報堂出版 動的解析と耐震設計編〔第2巻〕 動的の方法 技報堂出版