

1. まえがき

本論は、2方向水平地震動入力下での鉄筋コンクリート単柱式橋脚の2軸曲げ非線形動的応答解析を実行し、現行の2次元動的設計方法の比較と、強震下におけるせん断耐力の劣化に着目し、現行手法への応用を検討した。

2. 円柱橋脚の2軸曲げ3次元挙動計算例

(1) 2軸曲げ相関関係

一般に曲げを受ける3次元骨組み解析を行う場合、平面内の直交する軸それぞれの剛性を算定し、さらに2軸間の相関関係を導入する。それにより剛性を定義していない斜め方向の剛性(もしくは耐力)を擬似的に与える¹⁾。一般的に、軸力一定下における2軸曲げを受ける部材の耐力の相関関係は、図-1のように表現できる²⁾

ここで、 M^Z :Z軸周りの作用曲げモーメント、 M_y^Z :Z軸周りの降伏曲げモーメント、 M^Y :Y軸周りの作用曲げモーメント、 M_y^Y :Y軸周りの降伏曲げモーメントである。終局モーメント M_u の評価に関しても同様な相関面を定義すればよい。

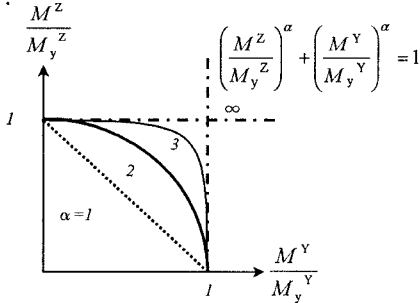


図-1 2軸間の相関関係の近似例

以降、2軸曲げの相関関係を考慮した3次元解析を”相関有りモデル”、そして現行の動的設計法³⁾と同様に2軸間の相関関係を考慮しない(独立である)解析を”相関無しモデル”と呼ぶ。

(2) 非線形動的解析例

検討は兵庫県南部地震で被災した実橋脚を対象とした。履歴則には武田モデル、その剛性低下指数は0.4、減衰は歪みエネルギー比例減衰を与えた多質点系骨組みモデルによる非線形動的解析を行った。プログラムの都合上、塑性ヒンジのモデル化を行わず曲げの非線

形性を $M-\phi$ のみで表現する材軸直交分割モデルとした。地震動は本橋脚位置での推定地震動波形を用いて解析を行った⁴⁾。

相関有りモデルと、相関無しモデルの橋脚上部からの応答変位の軌跡を図-2に示す。2つの応答は明らかに異なる挙動を示しており、相関関係の有無は最大応答変位の評価のみならずその履歴にも大きな影響を与えている。橋軸(LG)方向最大応答値を比較すると相関有りモデルが約2倍大きく、残留変位も大きい。

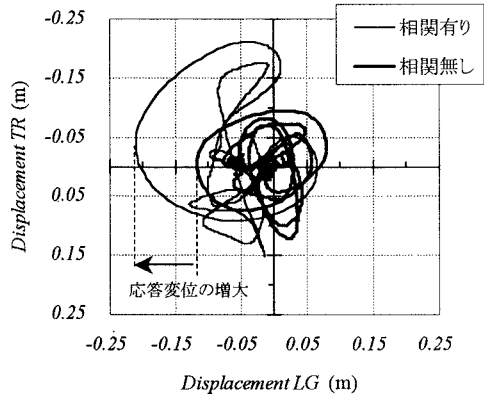


図-2 応答変位の軌跡

3. 2軸曲げ効果を考慮した耐震設計

(1) 最大応答値の増加

表-1 解析用入力地震動³⁾

道路橋示方書標準波形	観測地震動波形
Type1 I 種地盤用 1,2	JMA-KOBE1995 NS,EW
Type1 II 種地盤用 1,2	HACHINOHE1968 NS,EW
Type1 III 種地盤用 1,2	ELCENTRO1940 NS,EW
Type2 I 種地盤用 1,2	TAFT 1952 NS,EW
Type2 II 種地盤用 1,2	
Type2 III 種地盤用 2,3	

表-1に示す地震動を用い、相関有りモデルと相関無しモデルのその最大応答変位を比較した(図-3)。するといずれの場合も相関有りの方が大きく、その比率 ϕ_{DISP} を平均するとおよそ1.5であった。2軸曲げ効果により現行の動的設計に比べ大きな応答を見こまなければならない。さらにタイプ1地震動では1.8倍程度、一方タイプ2地震動では1.4倍程度と、割増は前者のほうが大きい傾向がある。

キーワード:鉄筋コンクリート, 2軸曲げ, 非線形動的解析, 必要降伏震度, せん断強度

連絡先: 〒158-0087 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 tel. 03-3703-3111(内:3241) fax. 03-5707-1165

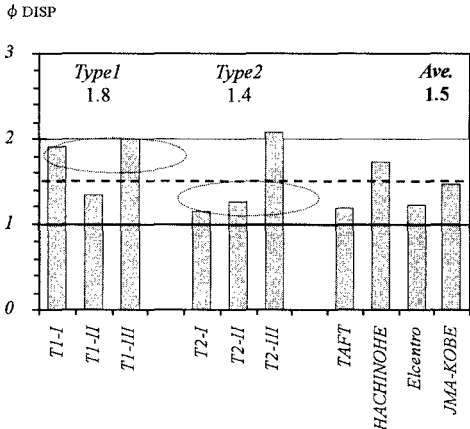


図-3 2軸曲げ効果による応答塑性率の割増係数 ϕ_{DISP}

(2) 2軸曲げ効果による設計震度の割増

相関無しモデルの最大応答塑性率を前述の割増係数で除し、それによる必要降伏震度をエネルギー一定則より求める。それを割増係数を1としたときの必要降伏震度を除す。その率を設計震度の割増率 ω と呼び、算定結果を図-4に示す。

その比率はおよそ1.2となっており、現行の簡易設計法に比べ約20%大きな降伏震度を見こまなければならない。すなわち、2軸曲げ効果によって見こまれる応答の増大が、降伏震度の増大となって現れている。

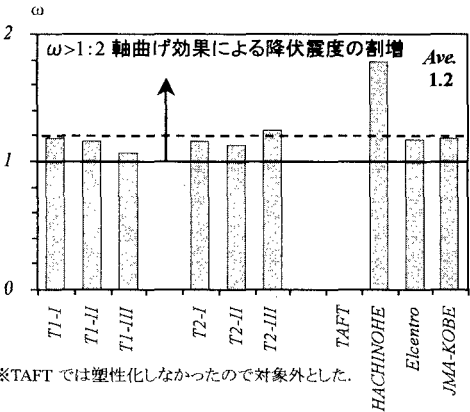


図-4 2軸曲げ効果による設計震度の割増係数 ω

(3) コンクリートの負担するせん断強度の低減

Priestley の提案するせん断強度劣化曲線⁵⁾を用いて比較検討する。縦軸を初期強度で正規化したせん断強度劣化係数 ξ をそれぞれの応答で求める(最大1となる)。Priestley の劣化曲線は2軸曲げを受ける場合、1軸曲げ状態に比べ小さな変形から劣化が始まるのが特徴である。それを用いて、相関ありの応答の ξ を

Bi-axialの曲線より、相関無しの応答の ξ を Uni-axialの曲線より算出した。前者を後者で除し、すなわち2軸曲げ効果によるせん断強度低減率 ξ_{SHR} を算定し、その結果を図-5に示した。

図より、どの地震動においても低減率 ξ_{SHR} は1より小さく、概略タイプ1地震動で $\xi_{SHR}=0.52$ 、タイプ2地震動で $\xi_{SHR}=0.88$ と、タイプ1地震動ではより大きな低減が必要に分かる。これは現行道路橋示方書の繰返し回数による補正と同様な傾向である。

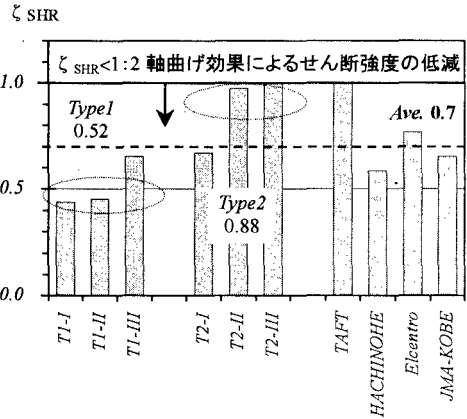


図-5 2軸曲げ効果によるせん断強度低減係数 ξ_{SHR}

4. まとめ

2軸曲げ相関関係を考慮した非線形動的応答は、それを考慮しない現行の動的解析に比べ最大応答が増大する。それに伴い、以下のような設計パラメータの割増、あるいは低減が必要となる。

- ・必要降伏(等価水平)震度の割増は約20%程度。
- ・コンクリートの負担するせん断強度の低減は、タイプ1地震動で約0.52、タイプ2地震動で0.88。

謝辞:本検討はコンクリート委員会阪神淡路大震災被害分析小委員会での検討の一部であり、関係者の方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 1)磯崎 浩, 福澤 栄治, 高橋 元美:柱の変動軸力と2軸曲げモーメントを考慮したRC造立体骨組の弾塑性地震応答解析その1 解析法, 日本建築学会構造系論文報告集 第441号, 1992
- 2)日本建築学会:鉄筋コンクリート建造物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1997
- 3)日本道路協会:道路橋の耐震設計に関する資料, 1998
- 4)阿部哲子, 藤野陽三, 阿部雅人:1995年兵庫県南部地震による阪神高速高架橋の被害分析, 第25回地震工学研究発表会 講演論文集 第2分冊, 1999
- 5)Priestley, M. J. N., Seible, F., Calvi, G. M.: Seismic Design and Retrofit of Bridges, Wiley-Interscience, 1995