

楕円偏極指標を用いた2方向地震力に対する 構造モデルの2方向応答特性の基礎的検討

井上 和真¹・渡辺 和明²・五十嵐 晃³

¹正会員 大成建設株式会社 原子力本部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1新宿センタービル)
E-mail: inukzm00@pub.taisei.co.jp

²正会員 大成建設株式会社 原子力本部 (〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1新宿センタービル)
E-mail: kwatanab@ce.taisei.co.jp

³正会員 京都大学防災研究所 教授 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)
E-mail: igarashi.akira.7m@kyoto-u.ac.jp

本研究では、2方向外力を受ける構造モデルが塑性化した際に生じる荷重ベクトルと変位ベクトルがなす角である位相遅れに着目し、地震応答との関係について検討した。まず、MSSモデルを用いて、円形軌跡と正方形軌跡の静的変位増分解析を行い、位相遅れの基本特性を調査した。続いて、MSSモデルとRC橋脚を模したファイバーモデルを用いて、楕円偏極指標を用いた変位軌跡の静的変位増分解析を行った。その結果、MSSモデルよりもファイバーモデルの方が、位相遅れが大きくなる傾向が示した。更に、楕円偏極指標を用いた2方向地震動を入力として、MSSモデルとファイバーモデルを対象に地震応答解析を行った。その結果、動的解析においても地震応答が大きくなり、変位増分解析時の結果と同様の傾向が得られた。

Key Words :phase lag angle, incremental displace analysis, bi-directional seismic analysis, multiple shear spring model, fiber model

1. はじめに

実務における構造物の耐震性能照査では、1次元あるいは水平と鉛直の2次元断面でモデル化し、検討を行うことが一般的である。道路橋示方書¹⁾や鉄道構造物等耐設計標準²⁾、原子力発電所耐震設計技術指針³⁾等の指針では、耐震性能照査に用いる地震動は応答スペクトルで定義されており、1次元もしくは水平と鉛直の2次元で解析と照査が行われている。

このように実務においては、1次元あるいは2次元地震応答解析が一般的であるが、3次元地震応答解析によって構造物の耐震性能照査を行う場合、水平2方向入力による地震応答解析が可能となる。実際の地震動は複雑な軌跡特性（水平直交2成分間の位相特性）を持つことから、従来の耐震性能照査手法である水平1方向入力による地震応答解析に加え、水平2方向入力による地震応答解析を行うことは、耐震性能照査の合理化や、実地震動に対する構造物の地震時挙動の予測や確認の点で重要で

あると考えられる。

水平2方向入力による耐震性能照査をより一般的に実用化するためには、従来の1方向の地震動を取り扱うのと同様に、水平2方向地震動を評価する指標や、入力と応答の関係をより明確にする必要がある。現状の地震動の大きさを評価する指標としては、フーリエスペクトル、応答スペクトル、非線形応答スペクトルなどが挙げられるが、いずれも1次元の地震動を対象としたものである。水平2方向地震動に対しても、このような指標は必要不可欠であり、指標があることで、2方向地震動としての強度比較や2方向入力に対する構造物の地震時応答の予測に活用することができる。

このような背景から、著者らは2方向地震動としての強度評価、構造モデルの応答予測を目的に、非線形応答スペクトルを2次元に拡張した2方向非線形応答スペクトル⁴⁾を提案した。2方向非線形応答スペクトルの算出に用いる解析モデルは、複数のせん断ばねで構成されたMultiple Shear Springモデル(以下、MSSモデルと略す)によ

る水平2自由度を有する簡易な等方の1質点系モデルである。MSSモデルは非線形応答スペクトルのパラメータとなる固有周期、降伏震度（降伏荷重、降伏変位）を容易に扱えるため、従来の非線形応答スペクトルとの整合が良いこと、水平2方向の非線形応答の相互作用を考慮できることにより、MSSモデルを2方向非線形応答スペクトルの解析モデルに採用した。

従来の1方向の非線形応答スペクトルでは、構造条件や構造種別に応じて、バイリニア型モデル、Cloughバイリニア型、原点指向型の履歴曲線などの非線形モデルを選ぶことが出来るため、地震応答の予測では比較的高い精度で応答を予測、もしくは耐震性能照査に活用することが出来る。しかし、2方向の非線形応答スペクトルに用いるMSSモデルでは、バイリニア型の非線形モデルを用いることが一般的であり、RC部材などの複雑な非線形挙動の地震応答予測への適用性に課題が残る。

また、2方向入力に対する弾塑性地震応答解析では、複雑な入力、塑性化に伴う長周期化、履歴減衰の発生などにより、1方向入力時よりも地震応答を予測することは難しいと考えられる。著者らは、非線形モデルに対して、1方向入力よりも2方向入力の方が、応答が大きくなる場合もあれば、応答が小さくなる場合が存在することを解析的に示している⁴⁾⁶⁾。

従来、地震応答解析に用いる構造モデルの力学特性は、1次元の荷重-変位関係や応力-ひずみ関係によって定義されるが、水平2方向入力に対する地震応答解析を行うにあたっては、2方向連成問題としての構造モデルの力学特性を把握することが望ましい。2方向連成の構造物の力学特性として、荷重ベクトルと変位ベクトルのなす角であり、2方向の塑性変形量と対応するphase lag angle（以下、PLAと略す）がある。既往研究として、Bousias⁷⁾やRodrigues⁸⁾のRC柱に対する静的な2方向载荷実験による検討があるが、PLAに着目した検討・研究は非常に少ない。

本研究では、2方向入力に対する構造物の地震応答の予測を最終目標とし、PLAが複雑な2方向応答に影響するものとの仮定で、PLAの特性と2方向地震応答の関係を把握するために数値計算によって基礎的な検討を行った。まず、2軸非線形を考慮できる代表的なモデルであり、免震支承のモデル化で実績のあるMSSモデルを対象に、静的変位増分解析を行い、MSSモデルのPLAの基本特性を調査した。続いて、MSSモデルとRC橋脚を模したファイバーモデルを対象に、楕円偏極指標を用いた変位軌跡の静的変位増分解析を行い、MSSモデルとファイバーモデルの違いや、変位軌跡における楕円偏極指標の影響を調査した。更に、楕円偏極指標を用いた2方向応答スペクトル適合波を入力として、MSSモデルとファイバーモデルを対象に地震応答解析を行った。

2. PLAの基本特性の分析

(1) PLAの定義

x-y平面上において、PLAは式(1)で定義される。

$$\theta = \tan^{-1} \frac{F_y}{F_x} - \tan^{-1} \frac{D_y}{D_x} \quad (1)$$

ここに、

F_x, F_y : x, y 方向の荷重

D_x, D_y : x, y 方向の変位

式(1)に示すように、PLA は x-y 平面上における荷重ベクトルと変位ベクトルのなす角である。例えば、対象モデルを弾性体とした場合、荷重ベクトルと変位ベクトルの関係は、ばね係数倍となり、それぞれが描く軌跡の角度の差が生じず、PLA はゼロとなる。同様に、対象モデルが弾塑性体の場合でも、1 方向入力の荷重軌跡（あるいは変位軌跡）であれば、x-y 平面上で、荷重ベクトルと変位ベクトルに角度の差が生じないため、PLA がゼロとなる。

PLA に着目した既往の検討事例として、Bousias や Rodrigues の RC 柱に対する実験的検討がある。Bousias らは、正方形の RC 柱に対して、静的 2 方向漸増の正負交番载荷を行い、変位振幅ごとの PLA の変化を分析している。このとき、円形の変位軌跡のように、原点からの変位振幅が変わらないサイクルにおいては、PLA もほとんど変化が無いことを示している。また、変位振幅が大きくなると、PLA も増加する傾向を示している。Rodrigues らは、正方形や長方形などの断面寸法の異なる複数の矩形 RC 柱の PLA を算出した。

(2) MSSモデルにおけるPLAの算出例

水平 2 方向からの外力に対して、2 軸非線形を考慮できる MSS モデルを例にとり、PLA の算出例を示す。MSS モデルの概念図を図-1 に示す。また、本算出例に用いた MSS モデルの諸元は、参考論文 9)を参考とし、表-1 に示す。本検討においては、二次剛性比をパラメータとし、4 ケースの二次剛性比において、PLA を算出した。

MSS モデルを対象にした PLA の算出は強制変位による静的変位増分解析によって行う。変位軌跡について、1 周目の最大変位は降伏変位の 2 倍、2 周目の最大変位が降伏変位の 4 倍となる円形軌跡と正方形の変位軌跡の 2 種類とする。図-2 から図-5 にそれぞれの変位軌跡と合成変位-解析ステップ関係を示す。

変位軌跡を円形軌跡とした場合、弾性モデルに対する荷重軌跡を図-6 に、弾塑性モデルに対する荷重軌跡を図-7 に、PLA-解析ステップ関係を図-8 に示す。同様に

変位軌跡を正方形軌跡とした場合、弾性モデルに対する荷重軌跡を図-9 に、弾塑性モデルに対する荷重軌跡を図-10 に、PLA-解析ステップ関係を図-11 に示す。弾性モデルの荷重軌跡に着目すると、弾性モデルの荷重軌跡は、それぞれの変位軌跡に、ばね係数倍の形状をしていることが確認できる。一方、弾塑性モデルの荷重軌跡に着目すると、弾性モデルのときと異なり、変位軌跡と荷重軌跡が相似系にならない。これは、2 方向の強制変位によって、構造モデルが非線形化すること起因し、荷重ベクトルと変位ベクトルのなす角が生じる、即ち PLA が生じることを意味する。PLA-解析ステップ関係に着目すると、円形軌跡のように変位軌跡が周回中のように変位振幅が変わらない間は、PLA の増減がなく、変位振幅が増える際に、PLA も増加している。一方の正方形軌跡では、周回中においても変位振幅が増減し、これに対応するように、PLA も増減している。これらの特徴は、Bousias らや Rodrigues らの RC 柱を対象とした実験結果と整合的であり、簡易な MSS モデルを用いた解析的検討においても、PLA に関する傾向を捉えることが出来る。

また、図-12 に最終ステップにおける PLA-二次剛性比関係を示す。結果として、二次剛性比が大きいほど PLA が小さくなる傾向となった。これは、二次剛性比が大きいほど、荷重-変位関係において非線形性が弱くなることが一因と考えられる。

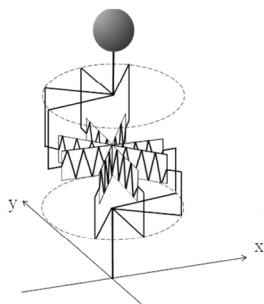


図-1 MSS モデルの概念図

表-1 検討モデルの諸元⁹⁾

質量(t)	50
降伏力(kN)	245.25
降伏震度	0.5
弾性固有周期(sec)	0.5
1次剛性(kN/m)	7896
降伏変位(cm)	3.11
二次剛性比	0.00, 0.05, 0.10, 0.20 の4ケース

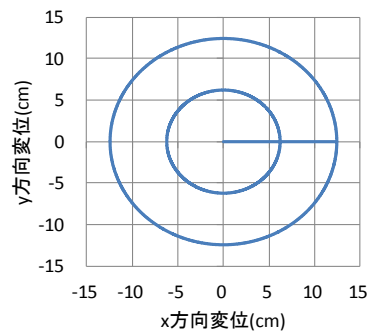


図-2 変位軌跡（円形軌跡）

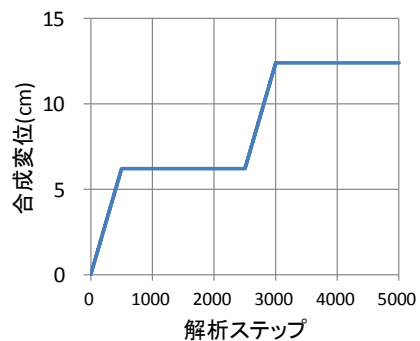


図-3 合成変位-解析ステップ関係（円形軌跡）

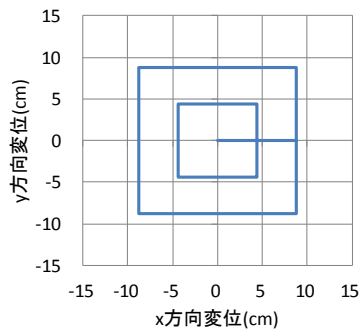


図-4 変位軌跡(正方形軌跡)

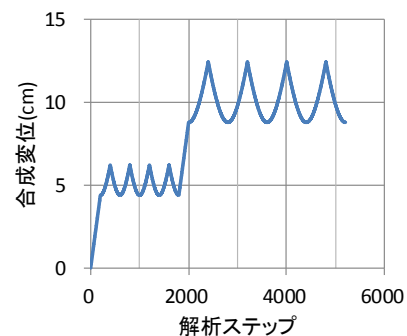


図-5 合成変位-解析ステップ関係(正方形軌跡)

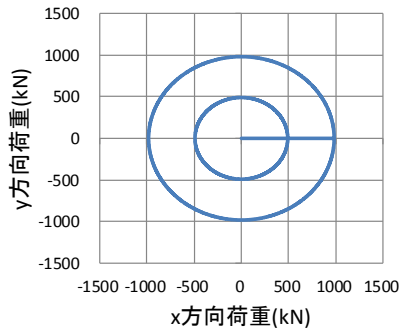


図-6 荷重軌跡(円形軌跡：弾性モデル)

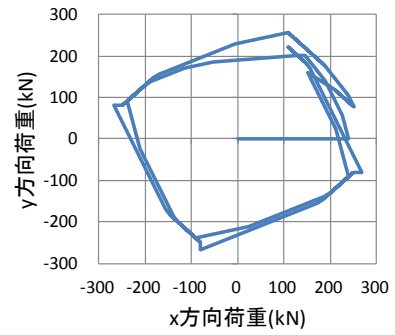


図-10 荷重軌跡（正方形軌跡：弾塑性モデル）

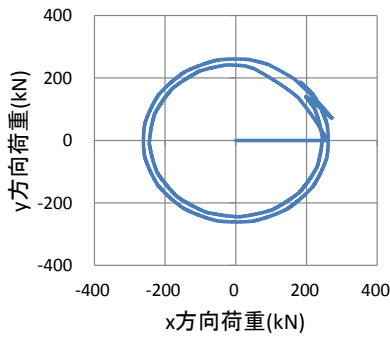


図-7 荷重軌跡(円形軌跡：弾塑性モデル, $n=0.05$)

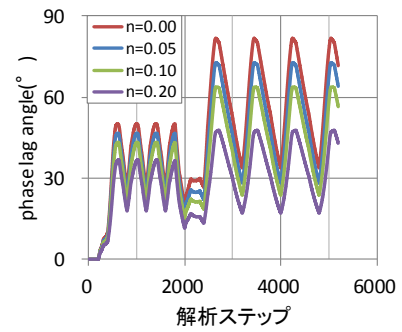


図-11 PLA-解析ステップ関係（正方形軌跡）

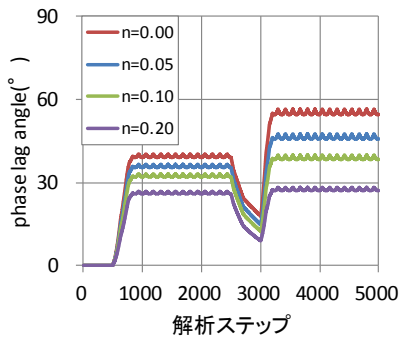


図-8 PLA-解析ステップ関係（円形軌跡）

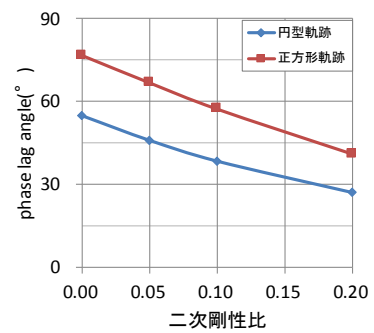


図-12 最終ステップにおける PLA-二次剛性比

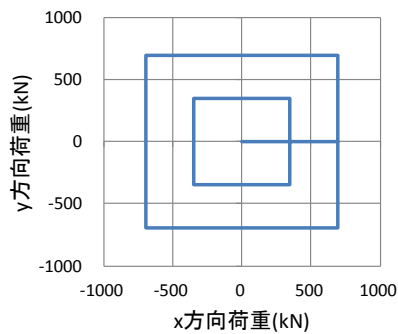


図-9 荷重軌跡（正方形軌跡：弾性モデル）

3. 2方向静的変位増分解析によるMSSモデルとファイバーモデルのPLAの分析

(1) 静的変位増分解析の変位軌跡

既往の楕円偏極指標による2方向スペクトル適合波の加速度軌跡に対応した変位軌跡により，MSSモデルとRC柱を模擬したファイバーモデルの2つのモデルに対して，PLAの検討を行う。

変位軌跡におけるx方向とy方向の変位は，それぞれ式(2)，式(3)で定義する。

$$x(t) = r(t) \cdot \cos \theta(t) \quad (2)$$

$$y(t) = \alpha \cdot r(t) \cdot \sin \theta(t) \quad (3)$$

ここに、

$r(t)$: x - y 平面における振幅 $0 \rightarrow 20(\text{cm})$

$\theta(t)$: x - y 平面における角度 $0 \rightarrow 2\pi$

t : 解析ステップ

α : 楕円偏極指標 $0 \sim 1.0$ まで 0.1 刻みで変化

楕円偏極指標 α が 0 の場合、 y 方向の変位はゼロとなるため、 x 軸に沿った 1 方向入力となる。 α が $0.1 \sim 1.0$ の場合、螺旋形の 2 方向入力となる。いずれの変位軌跡のケースにおいても、強制変位の始点は原点であり、終点は $x=20\text{cm}$, $y=0\text{cm}$ となる。 α が $0, 0.4, 0.7, 1.0$ のときの合成変位-解析ステップ関係と変位軌跡を、それぞれ図-13、図-14 に示す。

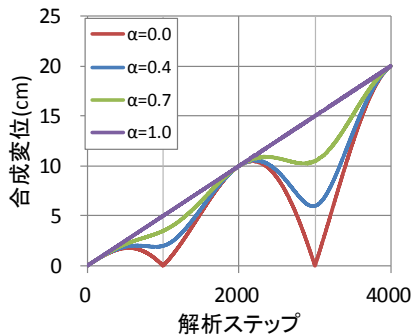


図-13 合成変位-解析ステップ関係

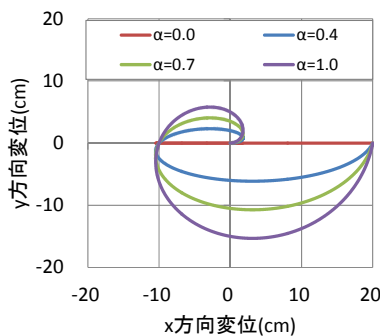


図-14 変位軌跡

(2) 対象モデル

検討に用いた対象モデルは、MSSモデルに加えて、ファイバーモデルと線形はりによりモデル化された円形断面のRC橋脚を対象とする。図-15にRC橋脚の解析モデルの概要図を示す。モデル基部のファイバーモデル部には、材料非線形性を考慮し、コンクリートは土木学会コンクリート標準示方書¹⁰⁾のモデルとし、鉄筋はバイリニアモデルとした。

MSSモデルは、ファイバーモデルと降伏震度が同一になるようにモデル化し、プッシュオーバー解析の結果、

MSSモデルの降伏震度 0.57 、弾性固有周期 $0.75(\text{s})$ に決定した。なお、MSSモデルの二次剛性比は 0.05 とした。図-16にMSSモデルとファイバーモデルの1方向載荷時の荷重-変位関係を示す。MSSモデルは構成ばねをバイリニア型で定義しているため、大变位に対しても荷重-変位関係は常に右肩上がりとなる。一方でファイバーモデルにおける、コンクリートの応力-ひずみ関係は、最大応力以降に応力低下をするモデルのため、ファイバーモデルの荷重-変位関係は、最大耐力以降に荷重低下が生じる。

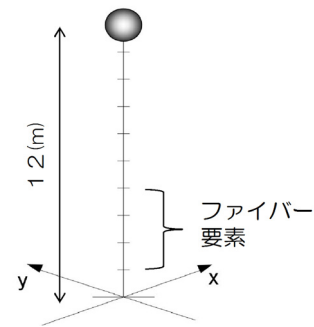


図-15 RC橋脚の解析モデル (ファイバーモデル)

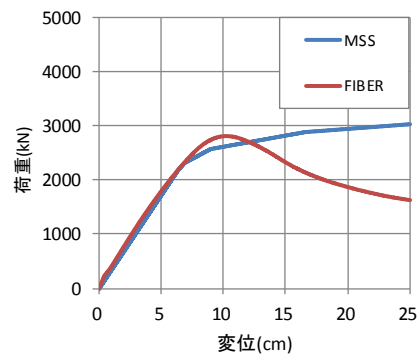


図-16 MSSモデルとファイバーモデルの1方向載荷時の荷重-変位関係

(3) 解析結果

図-17と図-18に楕円偏極指標 $\alpha=0.5$ と $\alpha=1.0$ におけるPLA-解析ステップ関係を示す。MSSモデルの場合、小変位領域において、PLAは 0 度であるが、ファイバーモデルの場合、小変位領域においてもPLAは生じる。これは、ファイバーモデルに用いたコンクリートの応力-ひずみ関係は、残存剛性率に基づく曲線型をしているため、小変位領域から非線形挙動を起こすことが要因である。変位軌跡の終点として、 $\alpha=0.5$ と $\alpha=1.0$ で同一の変位となるものの、ファイバーモデルの方が、PLAが大きくなる傾向を示している。

図-19 と図-20 に楕円偏極指標 $\alpha=0.5$ と $\alpha=1.0$ における荷重軌跡を示す。変位軌跡の終点は y 軸上のため、荷重軌跡における終点と原点を結んだ線と x 軸とのなす角が PLA に相当する。荷重軌跡からも、 $\alpha=0.5$ よりも $\alpha=1.0$ の方が、MSS モデルよりもファイバーモデルの方が、PLA が大きいことや、MSS モデルとの荷重差が早期に生じていることが確認できる。

図-21 に解析最終ステップにおける PLA-楕円偏極指標関係を示す。MSS モデル、ファイバーモデルの場合においても、楕円偏極指標が大きいほど最終ステップにおける PLA が大きいことを示す。これは、楕円偏極指標が大きいほど、変位軌跡の経路が長くなることに起因している。また、楕円偏極指標に依らず、MSS モデルと比べて、ファイバーモデルの方が PLA が大きくなることが確認された。これは、MSS モデルでは、荷重-変位関係において常に右肩上がりになるが、RC 柱を模擬したファイバーモデルでは、荷重低下が表現できるモデルあるという違いのためと考えられる。

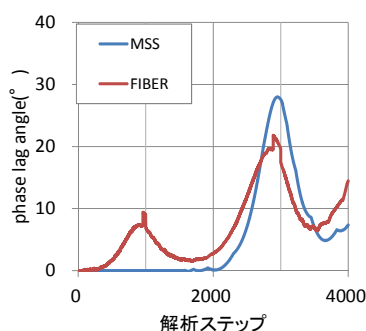


図-17 PLA-解析ステップ関係 ($\alpha=0.5$)

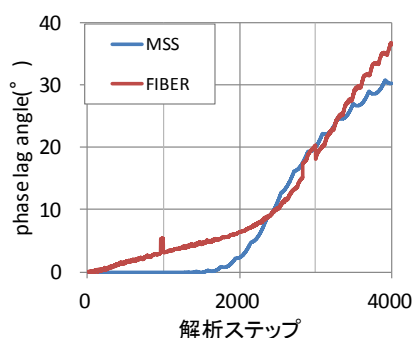


図-18 PLA-解析ステップ関係 ($\alpha=1.0$)

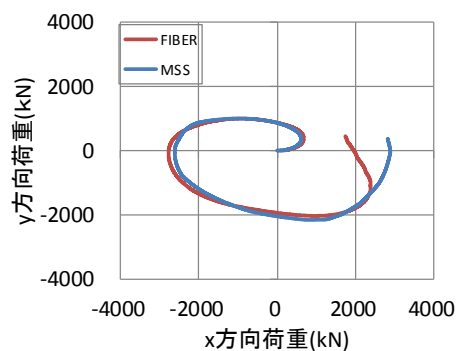


図-19 荷重軌跡 ($\alpha=0.5$)

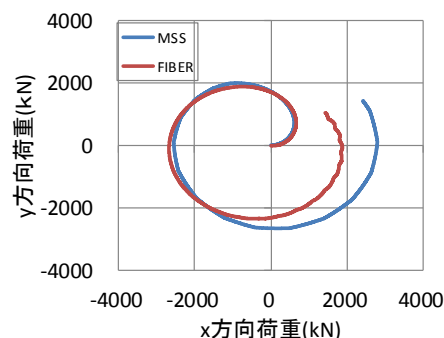


図-20 荷重軌跡 ($\alpha=1.0$)

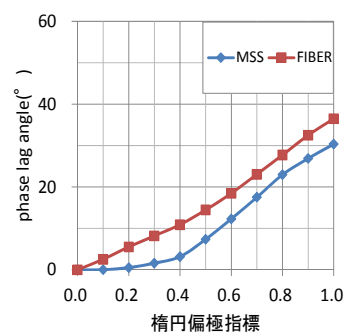


図-21 解析最終ステップにおける PLA-楕円偏極指標関係

4. 2方向地震応答解析によるMSSモデルとファイバーモデルのの応答評価

3章の検討に用いたMSSモデルとファイバーモデルを対象に、楕円偏極指標を用いた2方向入力による地震応答解析を行い、地震応答解析結果と静的変位増分解析によって得られたPLAとの関係を調査する。

(1) 検討に用いた入力波

入力地震動は、道路橋示方書³⁾の標準加速度波形、I-II-1波とII-II-1波を x 方向の入力波とし、直交する y 方向の入力地震動は、 x 方向のI-II-1波 (II-II-1波) をヒルベル

ト変換し、楕円偏極指標 α を乗じた波形⁹⁾とした。 α を0から1.0まで0.1刻みで規定することで、3章の強制変位軌跡を動的な外力として置き換えたことに対応する。

図-22、図-23に楕円偏極指標 α ごとの2方向応答スペクトルを示す。入力波の2方向応答スペクトルは α に依らず、同一の2方向スペクトルに適合していることがわかる。

なお、ファイバーモデルの地震応答の大きさに基づく解析精度の信頼性の判断から、入力地震動は70%の大きさにして、地震応答解析を行った。

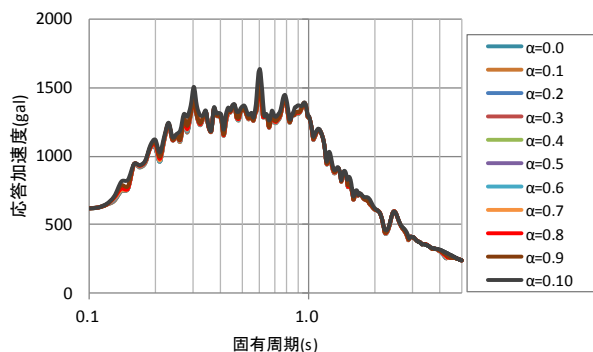


図-22 入力地震動の2方向応答スペクトル (I-II-1波)

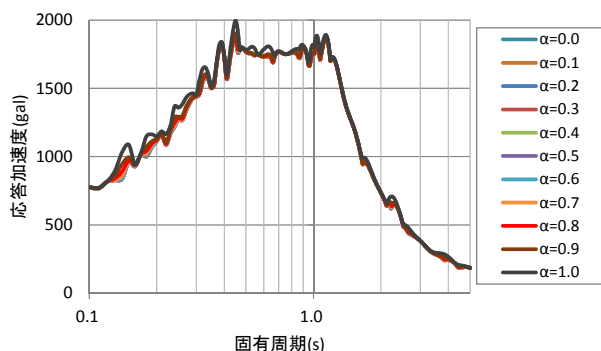


図-23 入力地震動の2方向応答スペクトル (II-II-1波)

(2) 地震応答解析結果

地震応答解析結果として、図-24と図-25に各ケースの最大応答変位-楕円偏極指標関係を示す。1方向荷重時の荷重-変位関係を近づけて定義したMSSモデルとファイバーモデルに対して、動的な2方向入力を行ったところ、ファイバーモデルの方が、最大応答は大きくなった。その理由として、ファイバーモデルの方がPLAが大きく、塑性変形が進行しやすいモデルある。また、一部傾向と異なる点があるが、2方向地震応答解析の楕円偏極指標が大きくなるほど、最大応答変位が大きくなる傾向を示している。この傾向は、静的変位増分解析で得られたPLAの大小関係や既往研究^{5) 6) 9)}と整合的であると言え

る。

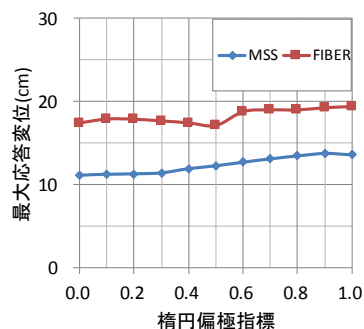


図-24 最大応答変位-楕円偏極指標関係 (I-II-1波)

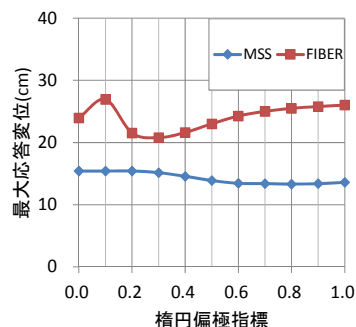


図-25 最大応答変位-楕円偏極指標関係 (II-II-1波)

5. 結論

本研究では、2方向入力に対する地震応答の予測を最終目標とし、PLAが複雑な2方向応答に影響するものと仮定の中で、PLAの特性と2方向地震応答の関係を把握するために数値計算によって基礎的な検討を行った。

本研究によって得られた知見は下記の通りである。

- ・MSSモデルを対象に、円形や正方形軌跡による静的変位増分解析を行った。解析によって算出されたPLAの傾向は、Bousias らが行ったRC柱の実験で得られた傾向と同様であり、簡易なMSSモデルにおいてもPLAの基本特性は十分に反映できる。

- ・1方向荷重時の荷重-変位関係を近づけたMSSモデルとファイバーモデルを対象に、楕円偏極指標を用いた変位軌跡による静的変位増分解析を行った。その結果、同一の2方向荷重に対して、MSSモデルよりもファイバーモデルの方がPLAが大きくなる結果となった。また、変位軌跡における楕円偏極指標が大きいくほど、PLAも大きくなる結果となった。

- ・1方向荷重時の荷重-変位関係を近づけたMSSモデルとファイバーモデルを対象に、楕円偏極指標を用いた2方

向応答スペクトル適合波による地震応答解析を行った。その結果、静的変位増分解析と同様に、ファイバーモデルの方が応答が大きくなる傾向となった。また、加速度軌跡における楕円偏極指標が大きいほど、最大応答変位も大きくなる結果となった。

また、今後の課題を以下に示す。

・現状のMSSモデルでは、荷重-変位関係は常に上がりになるため、耐力低下時の応答の予測は難しい可能性がある。MSSモデルの構成ばねを改良することで、耐力低下領域の応答も予測できる可能性がある。

・今回の解析的な検討は、想定されうる解析ケースの一例に過ぎない。変位増分解析や地震応答解析について、変位軌跡、地震動や解析モデルのケース増やすことで、地震応答とPLAとの関係をより詳細に分析する必要がある。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，丸善，2012.
- 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善，2012
- 3) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針，JEAG4601-2015.
- 4) 井上和真，五十嵐晃，渡辺和明：2方向非線形応答スペクトルを用いた水平2方向地震動の評価，土木学会 第20回応用力学シンポジウム講演概要集pp.255-256,2017
- 5) 井上和真，渡辺和明，五十嵐晃：2方向非線形応答スペクトルによる加速度軌跡の異なる2方向応答スペクトル適合波の評価，土木学会 第20回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集pp.77-83,2017
- 6) 井上和真，渡辺和明，五十嵐晃：水平2方向地震動の軌跡特性が構造物の2方向弾塑性応答に及ぼす影響，第36回土木学会地震工学研究発表会，B21-958，2016，10.
- 7) S.N.Bousias, G.Verzetti, G.Magonette, M.N.Fardis : RC columns in cyclic biaxial bending and axial load, *Earthquake Engineering, Tenth World Conference*,pp3041-3046,1992
- 8) H.Rodrigues, A.Arede, Humberto Varum and A.Costa : Experimental evaluation of rectangular reinforced concrete column behaviour under biaxial cyclic loading, *Earthquake Engineering and Structural dynamics*, 42,pp239-259,2013
- 9) 五十嵐晃，儀久昂：楕円偏極指標を規定したスペクトル適合水平2方向地震動の作成，土木学会構造工学論文集 vol.62A, pp273-279, 2016.
- 10) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計編），2012.
- 11) 五十嵐晃，井上和真，古川愛子，宇野裕恵，松田宏：標準波-相補直交成分波の組合せによる橋梁の耐震照査用水平2方向入力地震動，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol. 68, pp. I_458-I_469, 2012.
- 12) Igarashi, A. and Gigyu, S. : Synthesis of spectrum-compatible bidirectional seismic accelerograms with target elliptical component of polarization, *Earthquake Resistant Engineering Structures X, WIT Transactions on The Built Environment*, Vol. 152, pp. 63-72, DOI : 10.2495/ERES150051, 2015.
- 13) 井上和真，渡辺和明，五十嵐晃，畑明仁：強震動の観測記録の水平2方向特性の分析と水平2方向応答スペクトルに適合する入力地震動の作成法の提案，土木学会論文集A1（構造・地震工学），Vol. 72, pp. I_555-I_568, 2016.
- 14) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編に関する参考資料，丸善，2015..
- 15) 早川涼二，川島一彦，渡邊学歩：水平2方向地震力を受ける単柱式RC橋脚の耐震性，土木学会論文集 No759/ I -67, 79-98, 2004
- 16) 鈴木森晶，水野英二：二方向繰返し力を受けるRC柱の載荷履歴が変形性状に及ぼす影響に関する研究，土木学会論文集A2(応用力学)，Vol.67, No.2(応用力学論文集Vol.14), I_313- I 320, 2011.

BI-DIRECTIONAL RESPONSE CHARACTERISTICS OF STRUCTURAL MODEL FOR BI-DIRECTIONAL SEISMIC LOADS WITH ELLIPTICAL COMPONENT OF POLARIZATION

Kazuma INOUE, Kazuaki WATANABE and Akira IGARASHI

In this study, we focused on the phase lag angle of load vector and displacement vector which shows the magnitude of bidirectional plastic deformation and examined relationship with seismic response. First, static incremental displacement analysis of circular pass and square pass was performed using MSS model, and basic characteristics of phase lag were investigated. Subsequently, static displacement incremental analysis of displacement pass using the elliptically component of polarization was performed for MSS model and fiber model of RC piers. As a result, fiber model shows a tendency to increase phase lag more than MSS model. Furthermore, seismic response analysis was performed on MSS model and fiber model with bi-directional ground motion using elliptical component of polarization as input. As a result, seismic response also increased in dynamic analysis, and same tendency as result in incremental displacement analysis was obtained.