

非線形系の応答に影響を与える地震動特性

山本浩一¹・本田利器²・田村敬一³

¹正会員 建設省土木研究所 耐震技術研究センター 振動研究室（〒305 茨城県つくば市旭1番地）

²正会員 工修 京都大学 防災研究所（〒611 京都府宇治市五ヶ庄）

³正会員 工博 建設省土木研究所 耐震技術研究センター 振動研究室（〒305 茨城県つくば市旭1番地）

1 はじめに

地震動特性を表す一つの指標として、非線形応答から得られるリダクションファクター（以下 $R\mu$ と記す）が考えられる。 $R\mu$ によって、兵庫県南部地震による強震記録と過去に我が国で観測された強震記録とは特徴的な違いがあることがわかってきているが¹⁾、 $R\mu$ に影響を与える地震動特性については、十分解明されていない。そこで、本研究では地震動の振幅と位相に着目して、 $R\mu$ に影響を与える地震動特性について検討を行った。

2 解析方法

$R\mu$ は、一質点弾塑性系の最大応答塑性率が、目標の靱性率(μ)に一致するために必要な降伏耐力(F_y)と、同じ系が塑性化しないために必要な降伏耐力(F_{ye})との比として $R\mu = F_{ye}/F_y$ と定義される値である。さらに、この $R\mu$ を複数の弾性固有周期に対して求めたものを $R\mu$ スペクトルと定義する。なお、解析に用いた非線形履歴モデルは完全バイリニアとした。

本研究では、地震動の振幅と位相が、構造物の非線形応答に与える影響を検討するために、振動数領域で振幅調整を行った波形と、あるの周期帯の位相を操作した波形を作成し、 $R\mu$ スペクトルを算出した。

3 地震動の振幅が非線形応答に与える影響

振動数領域で振幅調整を行うことにより、位相特性は変化させることなく、目標の加速度応答スペクトルに適合する波形を作成した。図1に示すように、元波形の加速度応答スペクトルに最も近い目標スペクトル(No.2)を基準に、スペクトルの長周期側の下降勾配を一定にして、スペクトルの肩部を移動させることにより No.1~No.4の順に長周期成分が大きくなるように目標の加速度応答スペクトルを決定した。

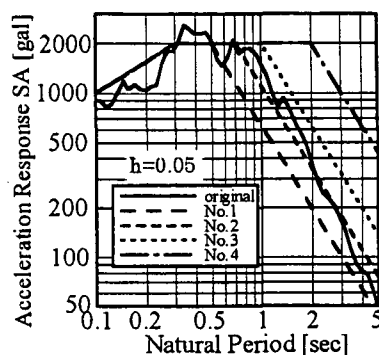


図1 目標加速度応答スペクトル

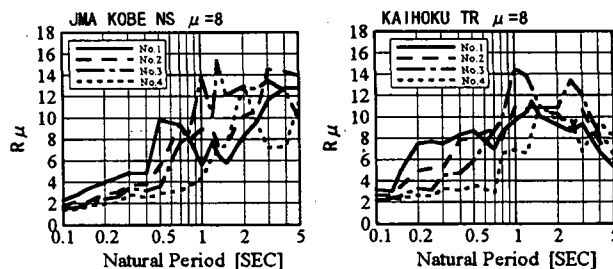


図2 振幅調整波の $R\mu$ スペクトル

解析に用いた波形は、兵庫県南部地震による神戸海洋気象台記録のNS成分（以下JMA KOBE NSと記す）と宮城県沖地震による開北橋記録のTR成分（以下KAIHOKU TRと記す）である。

図2に、各目標スペクトルに適合した振幅調整波の、靱性率8に対する $R\mu$ スペクトルを示す。これによると、JMA KOBE NSもKAIHOKU TRも概ね固有周期0.7s以下の領域でNo.1~No.4の順で $R\mu$ の値が小さくなっていることがわかる。これは、長周期成分が大きい波形ほど、短周期の $R\mu$ は小さくなることを示している。 $R\mu$ が小さいということは、同じ降伏耐力(F_y)であっても最大応答塑性率は大きくなることを意味しており、構造物にとっては影響の大きい波形であると考えられる。そこで、 $R\mu$ が小さくなる原因について検討するため、図2のKAIHOKU TRにおいてNo.1~No.4で $R\mu$ の値が大きく異なる $T=0.5s$ の場合の、No.2（元波形に近いスペクトル）とNo.4（長周期成分の最も大きな波形）の応

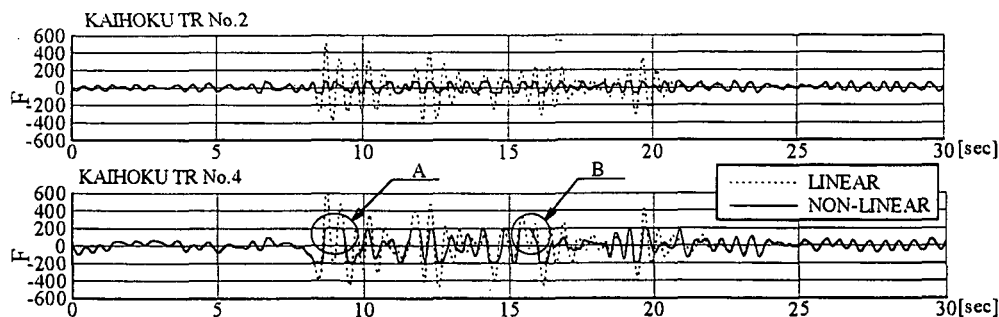


図3 開北橋記録TR成分の振幅調整波No. 2, No. 4の復元力の時刻歴（固有周期 $T=0.5s$ ）

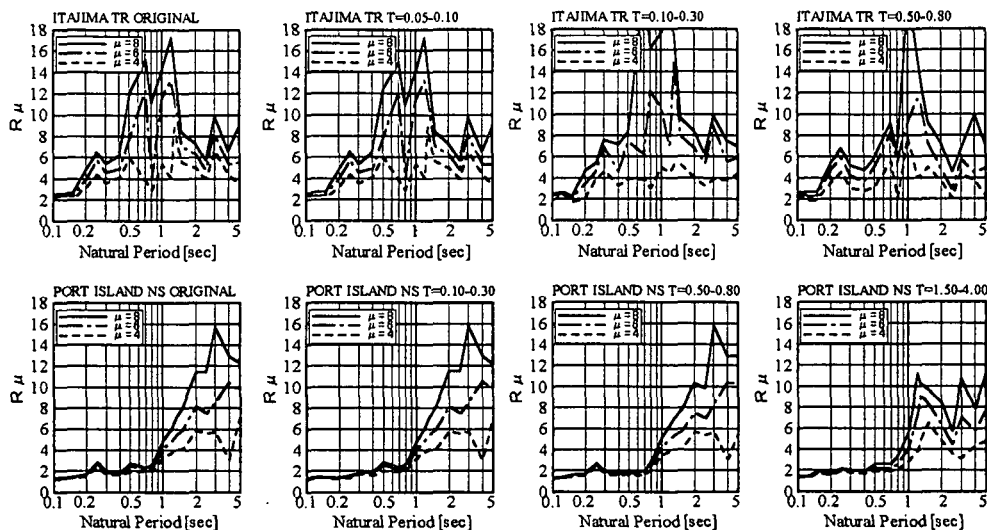


図4 位相を置き換えた波形に対する $R\mu$ スペクトル

答の特徴を比較した。図3にNo.2とNo.4の波形による粘性率8の復元力の時刻歴変化を示す。これによると、振幅調整波No.2においては、線形の周期と非線形の周期に大きな違いはないが、No.4では、図中A,Bの部分において非線形の周期が線形周期の約2倍になっていることがわかる。応答変位もこの部分で大きくなっており、入力地震動の長周期成分が大きい場合には、短周期領域における非線形応答変位が増大し、その結果 $R\mu$ が小さくなると考えられる。

4 地震動の位相が非線形応答に与える影響

位相が非線形応答にどの程度影響しているかを調べるため、振幅特性は変化させることなく、元波形の特定の周期帯の位相を $0\sim 2\pi$ の乱数で置き換え、その波形に対して $R\mu$ スペクトルを求めた。解析に用いた波形は、愛媛県西部沿岸の地震による板島橋記録のTR成分と兵庫県南部地震によるポートアイランド記録のNS成分である。位相を乱数で置き換えた周期帯は板島橋記録では $0.05\sim 0.1s$ 、 $0.1\sim 0.3s$ 、 $0.5\sim 0.8s$ であり、ポートアイランド記録では $0.1\sim 0.3s$ 、 $0.5\sim 0.8s$ 、 $1.5\sim 4.0s$ である。図4に元波形と位相を置き換えた各波形の $R\mu$ スペクトルを示す。これによると、板島橋記録では周期 $0.1s$ 以下、ポートアイランド記録では周期 $0.8s$ 以下の位相を乱数で

置き換えても、元波形とほとんど変わらない $R\mu$ スペクトルが得られている。板島記録については $0.1s$ 以下、ポートアイランドについては $0.8s$ 以下のフーリエ振幅は小さく、このような短周期側のフーリエ振幅の小さい部分の位相は、構造物の応答にあまり影響を与えないものと考えられる。この他にも数記録について同様の検討を行ったが、概ね周期 $0.1s$ 以下の位相は、応答計算結果にほとんど影響を与えていないことが確認された。

5 まとめ

構造物の非線形応答に影響を与える要因を探るため、入力地震動の振幅と位相に着目し検討を行った。その結果、線形の加速度応答スペクトルの長周期成分が短周期領域の非線形応答に影響を及ぼすこと、短周期側のフーリエ振幅の小さい周期帯の位相特性は、構造物の応答に及ぼす影響は小さいことがわかった。今後、さらに詳細な検討を行い、非線形動的解析に必要な地震動特性を把握する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 山本、田村、本田「直下型の地震動が非線形系の応答に与える影響について」第24回地震工学研究発表会 平成9年7月