

鹿児島大学工学部 正員 志原 進
鹿児島大学工学部 正員 河野 健二

1. まえがき

構造物の減衰は一般に大きさの異なる部分から構成されるため非比例形の減衰マトリックスとなる場合が多い。特に基礎-地盤-構造物系の動的相互作用を考慮した地震応答解析では、それぞれの部分の減衰の大きさが異なるため非比例形の減衰マトリックスの扱いが必要になる。非比例減衰マトリックスを有する系においては、厳密には非減衰時の固有値解析に基づく応答解析は適用できない。一般に非比例減衰系の応答解析は複素固有値解析を用いて解くことができるが、この方法は系のマトリックスの自由度を倍にして扱うため計算が煩雑になる。しかし、構造物の地震応答解析に非減衰時の固有値解析を適用することは簡明であり、しかもその動的特性が近似的に表わされるため多くの場合用いられる。一般に構造物の地震応答解析においては特定の地震波が設定される場合を除いて標準的な応答スペクトルが広く利用される。非比例減衰系の応答解析にこのような応答スペクトルを用いる場合、減衰マトリックスの対角化が必要になる。本研究は非比例減衰系の地震応答解析において、非減衰時のモーダルマトリックスによる非比例減衰マトリックスの対角化法が応答量の評価に及ぼす影響について検討を加えたものである。

2. 非比例減衰系の応答解析

非比例形の減衰を有する振動系として動的相互作用特性を考慮した地盤-基礎-構造物系の応答解析があげられる。この場合、上部構造物と基礎-地盤系との減衰は大きく異なったものとなる。一般に基礎-地盤系の減衰は振動数に依存した形を有するが、構造物の応答が卓越する振動数領域では近似的に振動数に独立した形で扱われることが多い。このような振動系を簡単な形でモデル化したものが Fig. 1 である。この振動モデルでは、バネ K_p 、減衰 C_p および質量 M_p が変化するものとする。

本解析では非比例減衰マトリックスの対角化法として非減衰時のモーダルマトリックスによって座標変換された振動系において共振時における応答が一致するように各

次振動の減衰定数を求める。また同様に、

座標変換された振動系の中で応答を支配する振動モードのみを選定系として表出し、各次振動の減衰定数を求める。さらに非減衰時のモーダルマトリックスを用いて表わされる座標変換された系の RMS 応答による減衰マトリックスの対角化についても考える。一方、複素固有値解析を利用して非減衰時のモーダルマトリックスによって座標変換された振動系の RMS 応答を求め、減衰マトリックスの対角化が応答に及ぼす影響について検討を加える。

Fig. 2 は質量 M_j 、バネ定数 K_j ($j=1, \dots, 4$) の大きさを一定としてそれぞれの比 $m = M_p/M_j$ 、 $k = K_p/K_j$ が変化し C_j は減衰定数 $\beta_j\%$ 、 C_p は減衰定数 $\beta_p\%$ を与えた場合の固有振動数の変化を示したものである。

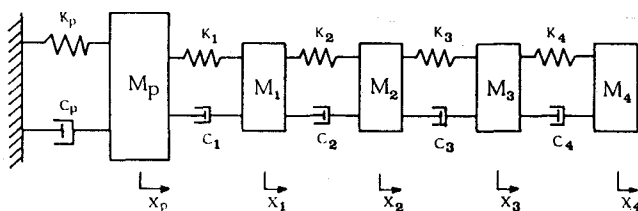
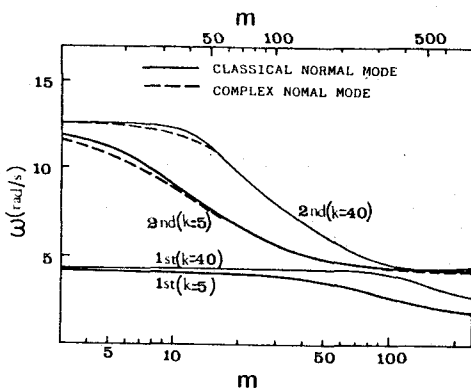


Fig. 1 振動モデル

Fig. 2 質量比 m と固有振動数の関係

実線は非減衰時の固有値解析から得られた固有振動数を表わし、破線は複素固有値解析から求めた RMS 応答より得られた固有振動数を表わしている。これらの方法で求めた固有振動数は 1 次に関しては全体においてよい一致を示しているが、2 次に関しては若干の相違が見られる。特に、応答に及ぼす影響の大きい 1 次と 2 次の振動の接近するところでは、これらの固有振動数はほぼ一致している。

Fig. 3 は減衰定数 β_p が 20% の非比例減衰系に関して m の大きさが変化する場合の各次振動の減衰定数の変化を示したものである。実線は複素固有値解析から求めた RMS 応答により得られた減衰定数を、また破線は非減衰時のモーダルマトリックスから近似的に求めたものである。近似的に求めた各 k の減衰定数は 1 次と 2 次の固有振動数が接近する場合を含めて、RMS 応答から求めた結果に比較的よい一致を示している。また RMS 応答から得られた減衰定数に比べて非減衰時のモーダルマトリックスを利用して近似的に求めた減衰定数は小さな値を示している。

Fig. 4 および Fig. 5 は強度 α_0 のホワイトノイズが作用するとき最も大きな応答を示す質点 M_4 の RMS 応答を減衰定数 β_p が 10% と 20% の場合について示したものである。これらの図で縦軸は RMS 応答を表わしており $R = \sqrt{2\omega^3/\pi S_0}$ (ω : 1 次の固有振動数) である。実線は複素固有値解析を行ない RMS 応答を求めたものであり、破線および点線は減衰マトリックスの対角化から得られた減衰定数を用いて近似的に求めた RMS 応答である。 β_p が 10% の場合、1 次と 2 次の固有振動数が接近する場合を除いて RMS 応答は十分に近似されることばかりである。1 次と 2 次の固有振動数が接近するところでは対角化された減衰定数を用いた応答は若干の増加を示している。また β_p が 20% になると RMS 応答は 1 次と 2 次の固有振動数が接近する場合だけでなく全体的に若干の相違がみられる。しかし減衰マトリックスの対角化から求めたそれぞれの減衰定数による RMS 応答の間には 1 次と 2 次の固有振動数が接近するときでもほとんど相違は見られない。

3. あとがき

非比例減衰マトリックスを有する振動系の地震応答解析は、応答に及ぼす影響の卓越した振動モードの固有振動数が接近する場合を除き、対角化を用いて近似的に表わされる。

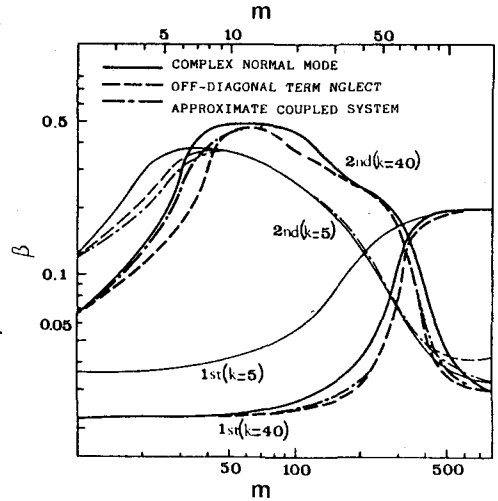


Fig. 3 質量比 m と減衰定数の関係

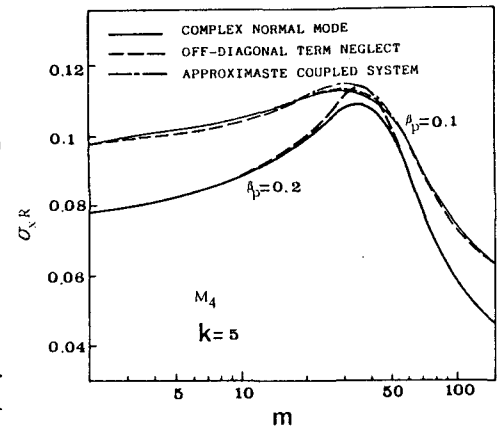


Fig. 4 質量比 m と RMS 応答の関係

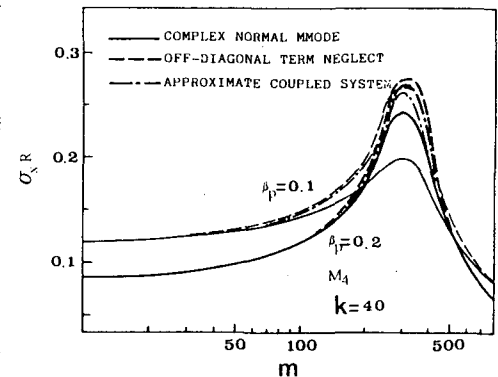


Fig. 5 質量比 m と RMS 応答の関係