

偏心による構造物崩壊の基礎的研究
 その2 スペクトルモーダル法による算出と時刻歴応答解析結果との比較
 Basic study of the structure collapse by the eccentricity
 Part2 Comparison between legal calculation and time career reply analysis result spectrum modal

○櫻井翔平², 幅上慎吾², 古橋剛¹, 染谷翔太³, 加瀬友貴³

*Shouhei Sakurai², Singo Habaue², Takeshi Huruhasi¹, Shouta Someya³, Yuuki Kase³

Unknown this spectrum modal law for the real earthquake wave by the previous report too much how effective it is. Therefore, I in this report, it using the earthquake wave that occurred, and the way of this spectrum modal is intended that how much of the adaptability gets the knowledge that there is for real earthquake vibration.

2.1 はじめに

前報では設計用応答スペクトルを用いたスペクトルモーダル法によって、偏心した構造物に対する一般的な特徴の知見を得ることができた。しかしこのスペクトルモーダル法が実際の地震波に対してはどの程度有効であるかはあまりわかっていない。

そこで本報では、実際に発生した地震波を使用し検討を行い、このスペクトルモーダル法が実際の地震動に対してどの程度の適応性があるかについての知見を得ることを目的とする。

2.2 最大変位と最大変位時の地震動入力方向

2.2-1. 検討モデルと検討方法

本報では、実際に発生した地震波に対して前報で用いたスペクトルモーダル法と時刻歴応答解析を用いて変位を算出し、その結果を比較、考察する。

前報の図 1.3-1 に示したモデルにおいて表 2.2-1 に示す諸元を与え検討を行う。このモデルは剛心を平面の中心に、重心を X、Y 両方向に偏心距離が 1m ずつとなるように設定している。また、固有値計算の結果を表 2.2-2、モード図 2.2-2 に示す

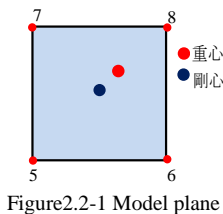


Table 2.2-1 Model specifications

	方向	単位	値
質量	-	[ton]	100
剛性	x方向	[kN/m]	2000
	y方向	[kN/m]	2400
偏心距離	x方向	[m]	1.0
	y方向	[m]	1.0

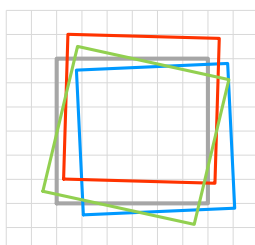


Figure 2.2-2 Figure of mode

Table 2.2-2 Eigenvalue analysis result

モード番号	1	2	3	
固有値	18.26	22.72	76.35	
固有周期[s]	1.47	1.32	0.72	
固有ベクトル	r_x	1.00	0.39	0.14
	r_y	-0.36	1.00	-0.19
	r_z	-0.21	0.13	1.00



図 2.2-1 で示したモデルに地震動を入力して、スペクトルモーダル法と時刻歴応答解析を行い、比較検討を行う。地震動の入力方向は X 方向とのなす角で -90 度方向から 90 度方向まで 5 度刻みとし、入力地震動は JMAKOBE 1995NS, Hachinohe 1968 NS, EL Centro 1940NS, TAFT 1952 EW の 4 つの地震波を使用する。ただし、地震動の入力方向は時計回りを正とする。

2.2-2. モードの振動方向

増澤らの研究で、振動モードが X 方向、Y 方向の両成分を有する際には並進する方向は X、Y 方向とは異なり、各モードの振動方向は並進する方向と X 軸とのなす角を θ と置いて式 2.3-1 と示すことができると述べられている。

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{-r_y}{r_x} \right) \quad \left(-\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.2-1)$$

また、構造物は振動方向 θ に地震動を入力した際に最大変位となりやすいと述べられている。

$$\theta_1 = 0.35[\text{rad}] = 20.0[^\circ]$$

$$\theta_2 = -1.20[\text{rad}] = -68.6[^\circ]$$

$$\theta_3 = 0.91[\text{rad}] = 52.3[^\circ]$$

2.2-3. 検討結果・考察

入力方向ごとにスペクトルモーダル法では X 方向変位と Y 方向変位のベクトル和を、時刻歴解析では時刻ごとの変位のベクトル和それぞれの最大値をそれぞれ図 2.3-1~2.3-8 に示した。

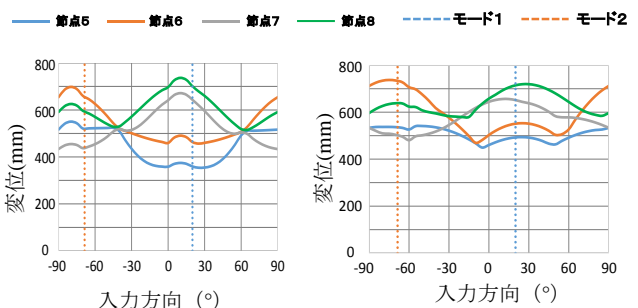


Figure 2.3-1 JMAKOBE 1995NS spectrum modal

Figure 2.3-2 JMAKOBE 1995NS time history response analysis

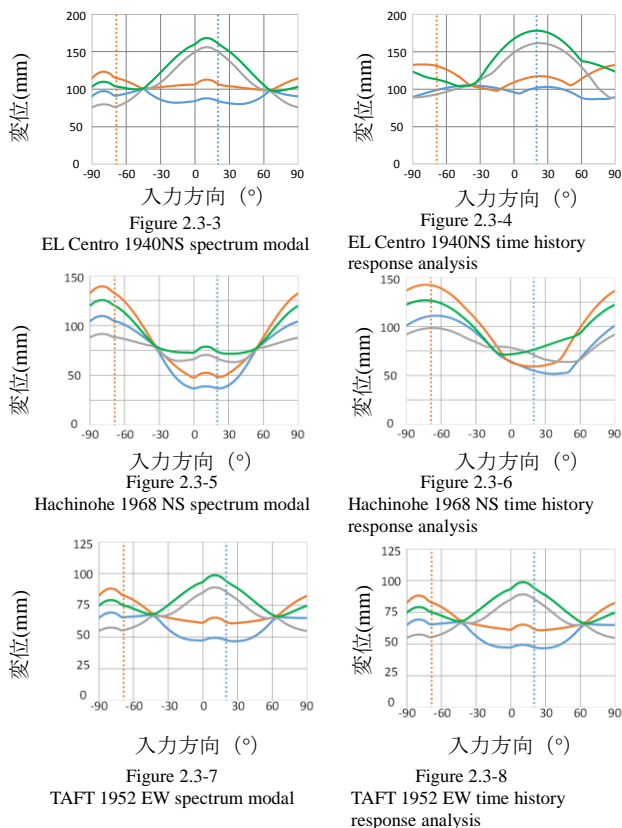


図 2.3-1 及び図 2.3-2 より最大変位の最大値は、図 2.3-1 では 736mm、図 2.3-2 では 719mm と図 2.3-1 の方が 17mm だけ大きく変位が生じたことが分かる。しかし、図 2.3-1 と図 2.3-2 との誤差はおよそ 2% と小さいものとなっている。また、最大変位が生じた入力方向は、図 2.3-1 では 10° 方向でモード 1 の振動方向付近、図 2.3-2 では 70° でモード 2 の振動方向付近となっており、最大変位の生じる振動方向のモードが異なっている。これは JMAKOBÉ 1995NS の変位応答スペクトルが、モード 1 の固有周期 1.47s で 63.8mm、モード 2 の固有周期 1.32s で 60.6mm と比較的近い値であり、最大値の生じる入力方向の判別が困難であるためと考えられる。

図 2.3-3 及び図 2.3-4 より、図 2.3-3 では 168mm、図 2.3-4 では最大値が 178mm と差が 10mm 生じており、誤差 6% と若干大きいものとなっていることが分かる。また、最大変位が生じる地震動入力方向は図 2.3-3 と図 2.3-4 とではほぼ一致しており、スペクトルモーダル法においても振動方向の最大変位がモード 1 とモード 2 で極端に近くない限りはモード 1 方向モード 2 方向どちらで最大変位が生じるかを算出できると考えられる。

図 2.3-5 及び図 2.3-6 より、図 2.3-5 では 139.2mm、図 2.3-6 では 142.3mm と差がわずか 4mm であり、誤差は 3% となっていることが分かる。また、図 2.3-6 の変位は図 2.3-2 や図 2.3-4 と非常に異なった生じ方をしているが、図 2.3-5 と比べるとかなり近い生じ方をしており、このスペクトルモーダル法がどのような地震波に対しても有用であるということを示している。

ると考えられる。

図 2.3-7 及び図 2.3-8 より、図 2.3-7 では 98.8mm、図 2.3-8 では 100.8mm と差は 2mm で誤差は 2% であることが分かる。図 2.3-1 から図 2.3-8 を通して誤差の平均はわずか 3.3% であり、このスペクトルモーダル法は非常に正確なものであると考えられる。

以上の結果から、スペクトルモーダル法による算出と時刻歴応答解析による結果には大きな差異はなく、スペクトルモーダル法の最大変位算出は有効であるといえる。

しかし、最大変位の最大値が生じる地震動入力方向がスペクトルモーダル法と式 2.2-1 で求められる振動方向 θ とは 5°~15° 程度差があるため注意することで今回用いたスペクトルモーダル法には改良の余地があると考えられる。

これらの結果から、スペクトルモーダル法を用いれば偏心した構造物においても比較的簡単に最大変位を求めることができ、偏心率ではない新しい評価ができる可能性があるといえる。

2.3 注意点

まず、前報に示した式 1.2-1 の重心変位 d_z を算出する際、各モードの刺激係数 $\beta_{i\theta}$ とねじれ成分の固有ベクトル r_{iz} 、また基準座標応答 q_i の積の足し合わせは絶対値和ではなく符号をつけて計算を行うという点である。 d_x, d_y に関しては絶対値和で計算を行うが、 d_z に関しては符号を考慮しなければならないということに注意が必要である。

つぎに、前報式 1.2-7 における A_n は符号を考慮しなければならない点である。 A_n を決める際、剛心を原点とする X 軸、Y 軸を設定し値をとる。例えば任意の点 n が第 3 象限にある場合、 A_{xn} は負をとり A_{yn} は正をとる。また A_{xg}, A_{yg} についても同様である。

最後に、式 1.2-7 で d_n 算出の際、回転を表す α は、 d_{xn} を算出の際にはそのまま、 d_{yn} を算出の際には絶対値をつける必要があるという点である。

2.4 おわりに

本研究では、振動方向を考慮したスペクトルモーダル法の提案や有用性、またそれを用いて偏心した構造物の一般的な特徴の知見を得ることができた。

しかし、このスペクトルモーダル法にはいくつかの注意点があることや、重心変位を算出する際に二乗和平方ではなく絶対値和を使用した理由が感覚的であることなど、まだ十分に検討されていないことも多い。

よって、このスペクトルモーダル法には様々な改善点が存在することが考えられ、その具体的な手法に関しては今後の研究課題としたい。

【参考文献】

- 1) 増澤拓也「並進とねじれの連成振動モードに関する基礎的研究」
- 2) 柴田明徳「最新耐震構造解析第 2 版」森山出版 2003.05