

九個自由度全聯結車動態模型之有限元素分析

專題學生：童元辰

指導教授：王 村

國立屏東科技大學

機械工程系

摘要

本文主要說明以有限元素 ANSYS 程式進行全聯結車動態模型的特性分析。假定全聯結車行駛在不平坦的道路表面，並針對其行駛的品質分析及路面對車輛振動響應的影響做進一步的探討。而對全聯結車駕駛來說開車的舒適感是最重要的，所以如何減輕因振動響應所造成的不舒適感，亦是此研究的目的。

一、前言：

車輛行駛在不平坦的路面，因從接觸地面的輪胎到緩充器以及車身本體，皆受到程序不等的振動，此一振動會直接造成駕駛的不舒適感。

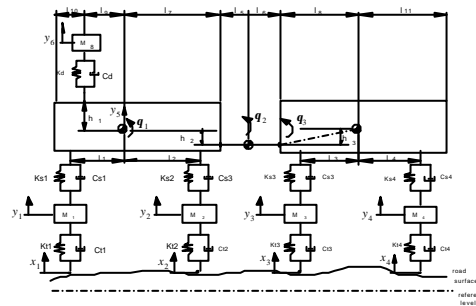
過去有許多研究是做不同車輛的動態模型分析，如捷運車輛動態系統數學模式建立與振動分析，而做這些分析也是希望未來是否能發明避震系統，以降低不平坦路面對駕駛造成的困擾和造成車體的傷害。陳建呈和呂學榮學長所作的四個自由度的機車動態模型之有限元素分析，主要是探討前後輪系兩個等效質量的准垂直振盪響應，及車體質心的垂直及轉動之振盪響應情形。Bor-Tsuen Wang 所作九個自由度的全聯結車動態模型的理論解和特性分析 (1)。而本文就是以 ANSYS 有限元素軟體為分析工具，來求解具有九個自由度的全聯結車動態模型的特性分析。

使用有限元素法，在建構正確的模型後，可任意合理的改變系統參數、幾何尺寸、邊界條件，並且可以迅速的得到合理且準確的結果。較之理論分析法受限於模型的複雜程度，或實驗法受限於實驗設備的複雜、昂貴及費時，有限元素分析確實具有簡單的實用性。

本文即以有限元素分析軟體 ANSYS5.5，求解一具有九個自由度的全聯結車動態模型，及前、後輪分別承受單位位移的簡諧作用。

二、問題定義與分析目標：

本文是以 ANSYS 程式進行九個自由度全聯結車模型的特性分析。如圖一所示，為一全聯結車半車體模型圖。試以有限元素分析軟體 ANSYS5.5，進行模態與簡諧運動分析。



圖一 九個自由度之全聯結車半車體模型 (1)

1. modal analysis(模態分析)：

自由振動分析之目的為獲得結構之模態參數特性(自然頻率與模態振型)，得知系統之自然頻率可避免產生共振；而獲知自然模態振型，可瞭解共振發生時結構之變

形狀態。

2. harmonic analysis(簡諧響應分析)：

簡諧響應分析之目的在為獲得頻率響應函數(frequency response function , FRF) , 頻率響應函數為系統響應與輸入負荷之比值。

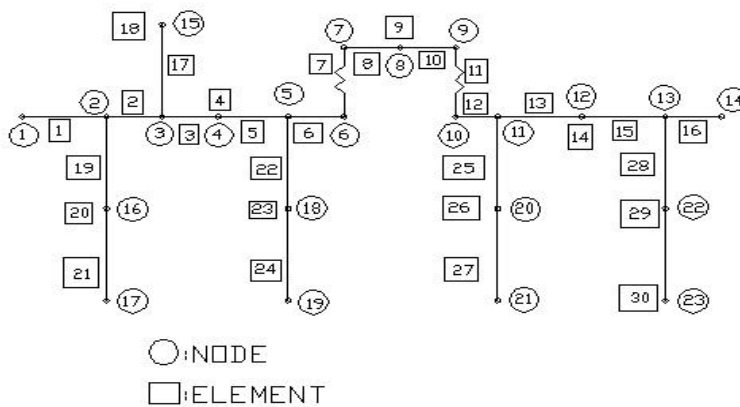
三、有限元素模型：

全聯結車振動模型的有限元素建構，包含了幾何尺寸的建立、結構元素的選擇、節點自由度的選擇、元素實數參數的給定，以及邊界條件(如外力輸入)和拘束(如位移限制)的決定。車身本體被考慮為可做垂直方向及繞質心旋轉方向的振動。故此全聯結車模型的元素共包括前後輪胎、前後緩衝器、前後輪系質量、剛性車體及車體可轉動質量等五種型式的元素。

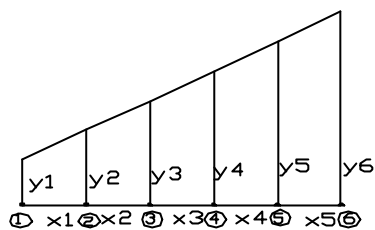
圖二為此一振動模型的所有元素及節點，本有限元素的模型共用了五種型式的元素，分別為 BEAM3、COMBIN14(分為可轉動和不可轉動兩種)、MASS21(分為可轉動和不可轉動兩種)、BEAM3 為一具有 UX,UY,ROTZ, 三個自由度、九個元素(1,2,3,5,6,12,13,15,16) , 用以架構剛性車身的本體。COMBIN14 為一具有兩個節點線性彈簧、阻尼結合元素，設定 KEYOPT(3)=2, 令其只具有 UX,UY,兩個自由度、八個元素(19,21,22,24,25,27,28,30) , 此元素用以架構前後輪胎及緩衝器。設定

KEYOPT(2)=6, 有 ROTZ,一個自由度、四個元素(7,8,10,11), 此元素用來隔離拖桿和車體本身的彈簧。MASS21 為一單一節點的質量元素。設定 KEYOPT(3)=3, 使具有 UX,UY,ROTZ,三個自由度、三個元素(4,9,14), 用以架構須同時考慮垂直及轉動響應的車體質量。設定 KEYOPT(3)=4, 使具有 UX,UY, 兩個自由度、五個元素(18,20,23,26,29), 用以架構僅須考慮垂直響應的前後輪系質量。本模型共用了三十個元素、二十三個節點，4,8,9,15,16,18,20,22 八個節點為系統主自由度。

定 17,19,21,23 四節點為前後輪位移輸入 (UY=0), 圖二所示，因為在使用 ANSYS 建構有限元素模型時，節點 6,7,和 9,10,此兩點是重複在一起的，所以節點 6,7,和 10,11,的 UY 方向位移要相等 (UY6=UY7,UY9=UY10)。節點 1,2,3,4,5,6,為前車的剛性車體，其旋轉角度同為 θ_1 , 故 (ROTZ1=ROTZ2,ROTZ2=ROTZ3,ROTZ3=ROTZ4,ROTZ4=ROTZ5,ROTZ5=ROTZ6)。同理，節點 7,8,9,為拖桿，其旋轉角度同為 θ_2 , 節點 10,11,12,13,14, 為後車的剛性車體，其旋轉角度同為 θ_3 。從圖三可知 y_1 為節點 1 垂直位移、 y_2 為節點 2 垂直位移、 x_1 為節點 1 和節點 2 之間的距離，則 $\frac{y_2-y_1}{x_1} = \theta_1$, $\frac{y_3-y_2}{x_2} = \theta_2$, 同理 $\frac{y_8-y_7}{x_6} = \theta_2$, $\frac{y_{11}-y_{10}}{x_{10}} = \theta_3$ 。



圖二 系統 ELEMENT、NODE 圖



圖三 說明 CE 指令

表一 元素總表

TYPE	ELEMENT	REAL
1	1~3	19
	5~6	
	8	
	10	
	12~13	
	15~16	
2	17	9
	19	1
	21~22	2~3
	24~25	4~5
	27~28	6~7
	30	8
3	4	11
	9	12
	14	13
4	18	18
	20	14
	23	15
	26	16
	29	17
	7	10
5	11	10

表二 元素形式特性表

元素形式邊號 (TYPE)	元素	Keyopt	物理特性
1	BEAM3		剛性車體
2	COMBIN14	(2)=2	前後車輪及緩衝器
3	MASS21	(3)=3	拖桿和車體本身的彈簧
4	MASS21	(3)=4	車體質量
5	COMBIN14	(2)=6	前後輪系質量

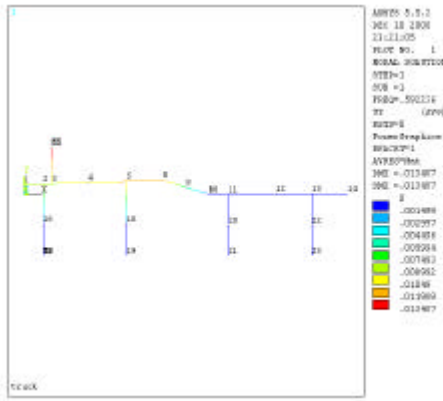
表三 REAL 表

REAL	1	2	3
1	ks1=80000N/m	cs1=30000N-s/m	
2	kt1=800000N/m	cs1=2000N-s/m	
3	ks2=80000N/m	cs2=30000N-s/m	
4	kt2=800000N/m	cs2=2000N-s/m	
5	ks3=80000N/m	cs3=30000N-s/m	
6	kt3=800000N/m	cs3=2000N-s/m	
7	ks4=80000N/m	cs4=30000N-s/m	
8	kt4=800000N/m	cs4=2000N-s/m	
9	kd=4000N/m	cd=250N-s/m	
10	$k_g = 0$		
11	m5=4000kg	i5=8500kg-m ²	
12	m6=200kg	i6=45kg-m ²	
13	m7=3600kg	i7=7500kg-m ²	
14	m1=800kg		
15	m2=800kg		
16	m3=800kg		
17	m4=800kg		
18	m8=100kg		
19	A=1m ²	I=kg-m ²	H=1m

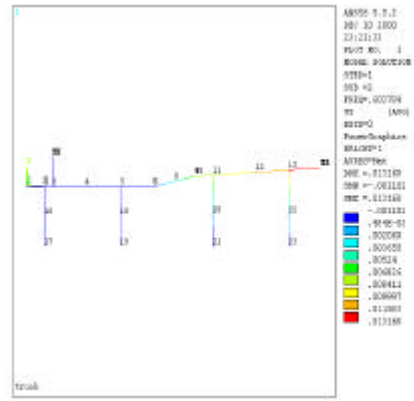
四、結果與討論：

表四 自然頻率(Hz)

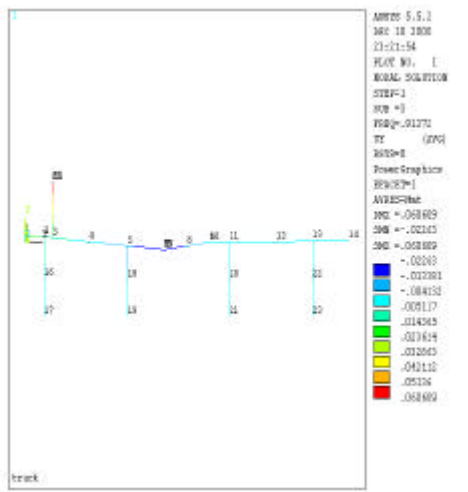
Mode	理論	ANASYS	物理意義
1	0.59224	0.59224	前車體的剛體垂直運動
2	0.60378	0.60378	後車體的剛體垂直運動
3	0.91372	0.91372	前車的前傾動作
4	1.03360	1.0336	後車的前傾動作
5	1.07027	1.0703	托桿的前傾動作
6	5.28198	5.2820	後車輪軸垂直運動
7	5.28208	5.2821	前車輪軸垂直運動
8	5.28769	5.2877	前車的前軸上後軸下
9	5.28919	5.2892	後車的前軸上後軸下



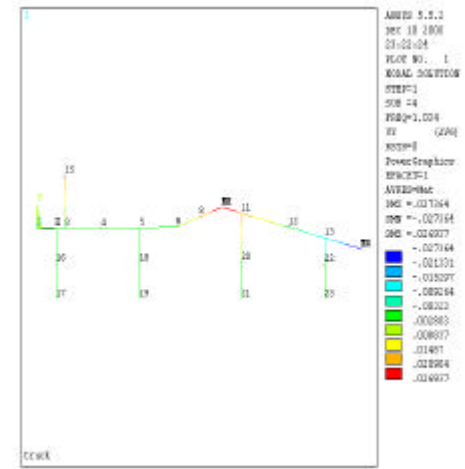
(a) Mode 1



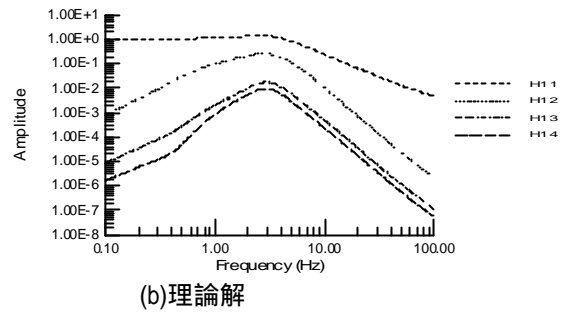
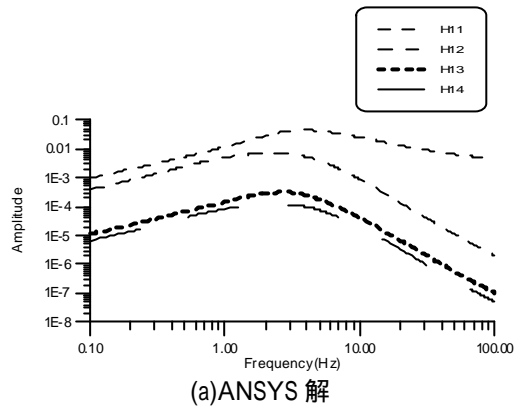
(b) Mode 2



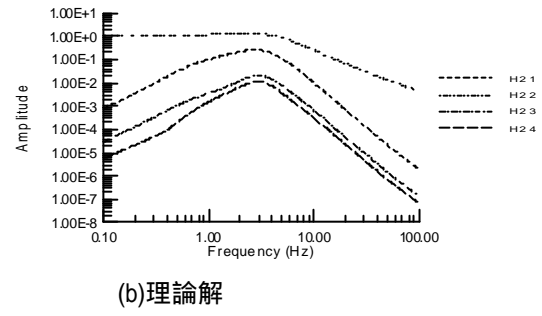
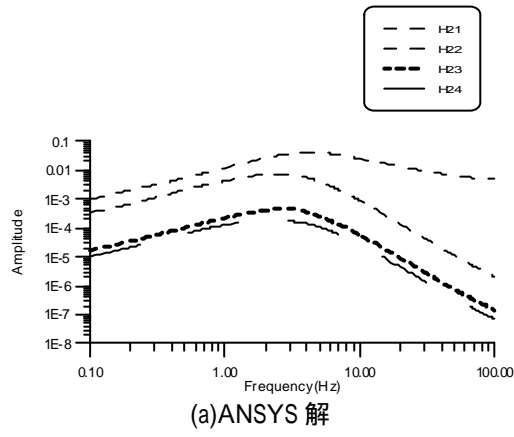
(c) Mode 3



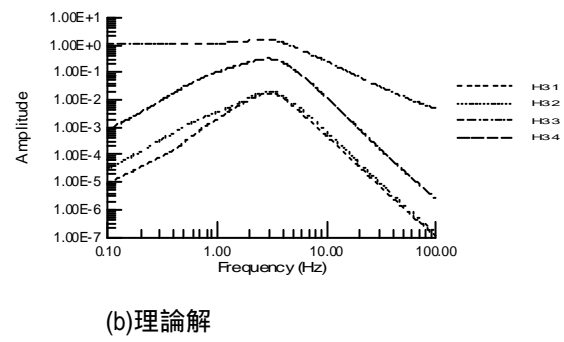
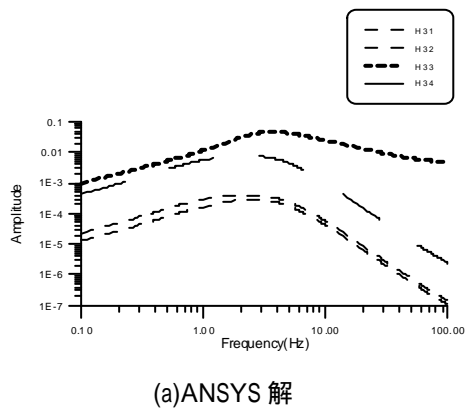
(d) Mode 4



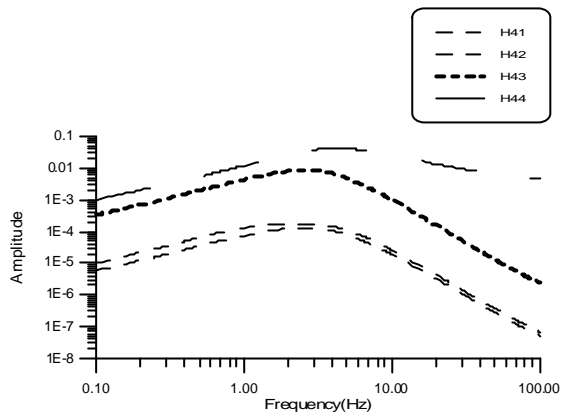
圖五 $H_{1j}, j=1,2,3,4$



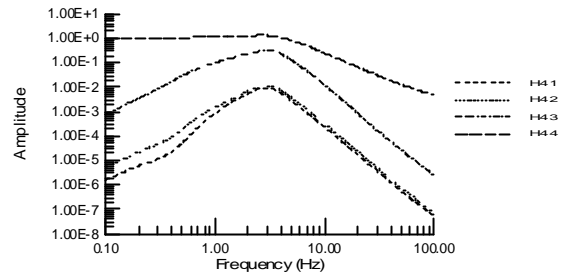
圖六 $H_{2j}, j=1,2,3,4$



圖七 $H_{3j}, j=1,2,3,4$

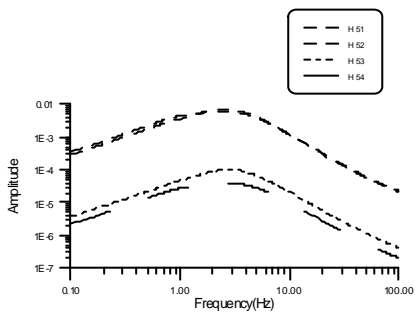


(a)ANSYS 解

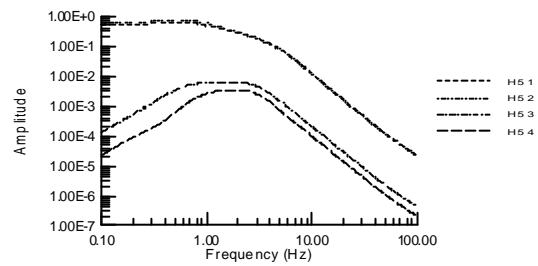


(b)理論解

圖八 $H_{4j}, j=1,2,3,4$

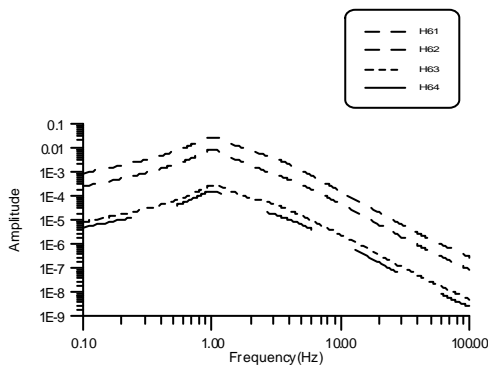


(a)ANSYS 解

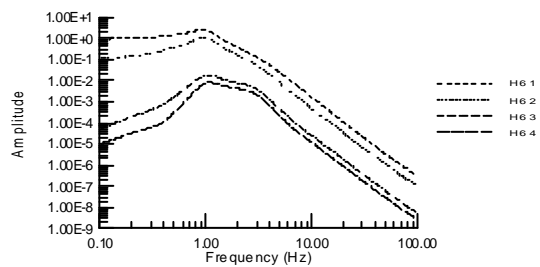


(b)理論解

圖九 $H_{5j}, j=1,2,3,4$

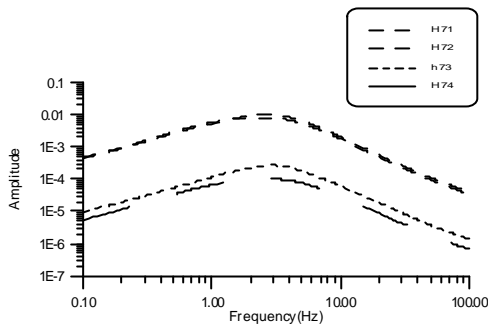


(a)ANSYS 解

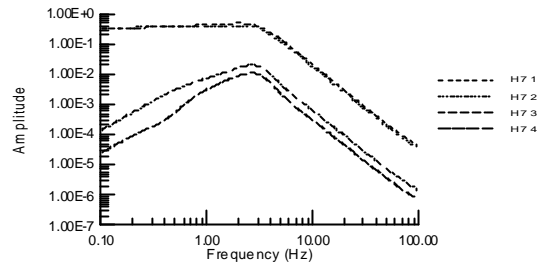


(b)理論解

圖十 $H_{6j}, j=1,2,3,4$



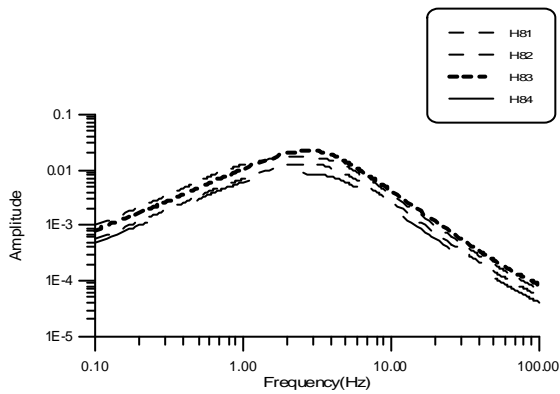
(a)ANSYS 解



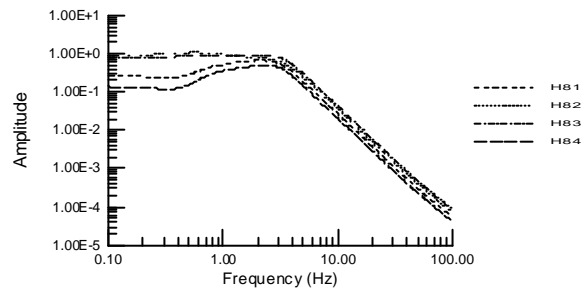
(b)理論解

圖十一

$$H_{7j}, j=1,2,3,4$$



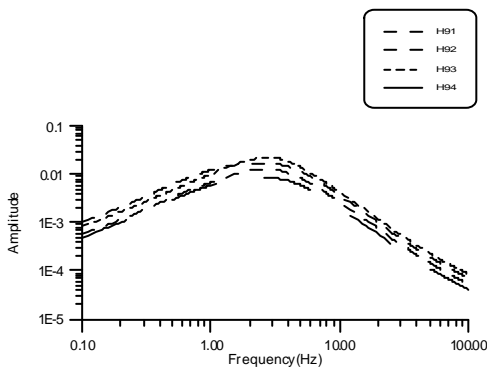
(a)ANSYS 解



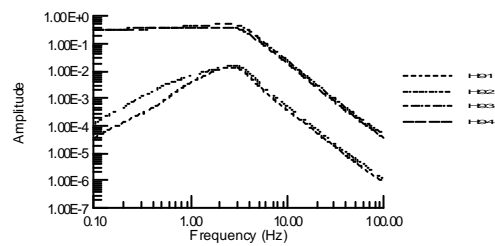
(b)理論解

圖十二

$$H_{8j}, j=1,2,3,4$$



(a)ANSYS 解



(b)理論解

圖十三

$$H_{9j}, j=1,2,3,4$$

做模態分析可得自然頻率和模態振型，從表四得知理論自然頻率和 ANSYS 做出的自然頻率是相同的，所以此結果是正確的。從圖四得知模態振型，Mode 1 為前車體的剛體垂直運動，Mode 2 為後車體的剛體垂直運動，其餘 Mode 3~Mode 9 在表四都有說明。做簡諧分析可得頻率響應函數，圖五為 $H_{1j}, j=1,2,3,4$ 頻率響應函數圖，其 1 為 y1 輸出，j 為 x1,x2,x3,x4 輸入，(a)為 ANSYS 解，(b)為理論解。從圖五可發現 ANSYS 解與理論解之 H11、H12、H13 和 H14 排列順序是一致的，但振幅理論解比 ANSYS 解來的大。從圖六發現 H21、H22、H23 和 H24 也和 H11、H12、H13 和 H14 一樣，排列順序是一致的，但振幅理論解比 ANSYS 解來的大。同理，圖七到圖十二，其結果也一樣。只有在圖十三的 H91、H92、H93 和 H94 ANSYS 解的振幅較小且排列順序和理論解也不一樣。

五、參考文獻

1. Wang, B. T., and Hu, B. Y., 1998, "The Assessment of the Ride Quality of a Truck-full Trailer Combination," Heavy Vehicle Systems, A Series of the International Journal of Vehicle Design, Vol. 5, No.3/4,pp.208-235.
2. 陳建呈 呂學榮，四個自由度的機車動態模型之有限元素分析。
3. 王 村，陸地車輛動態行駛品質分析。
4. 賴育良 林啟豪 謝忠佑著，ANSYS 電腦輔助功能分析，儒林圖書有限公司。

六、附錄

表 A1 第一組模態振型 UY,ROTZ 值

	UY	ROTZ
1	0.008129	0.00068915
2	0.008612	0.00068915
3	0.008818	0.00068915
4	0.009714	0.00068915
5	0.010679	0.00068915
6	0.011575	0.00068915
7	0.011575	-0.0066264
8	0.005943	-0.0066264
9	0.000642	-0.0066264
10	0.000642	0.00002701
11	0.000660	0.00002701
12	0.000706	0.00002701
13	0.000741	0.00002701
14	0.000777	0.00002701
15	0.013487	
16	0.000793	
17	0.000000	
18	0.000983	
19	0.000000	
20	0.000061	
21	0.000000	
22	0.000068	
23	0.000000	

表 A2 第二組模態振型 UY,ROTZ 值

	UY	ROTZ
1	-0.000701	-0.0000042
2	-0.000704	-0.0000042
3	-0.000705	-0.0000042
4	-0.000711	-0.0000042
5	-0.000717	-0.0000042
6	-0.000722	-0.0000042
7	-0.000722	0.0047203
8	0.003290	0.0047203
9	0.007066	0.0047203
10	0.007066	0.0011204
11	0.007921	0.0011204
12	0.009995	0.0011204
13	0.011582	0.0011204
14	0.013168	0.0011204
15	-0.001102	
16	-0.000069	
17	0.000000	
18	-0.000066	
19	0.000000	
20	0.000279	
21	0.000000	
22	0.001067	
23	0.000000	

表 A4 第四組模態振型 UY,ROTZ 值

	UY	ROTZ
1	-0.001708	0.0005302
2	-0.001337	0.0005302
3	-0.001178	0.0005302
4	-0.000489	0.0005302
5	0.0002533	0.0005302
6	0.0009426	0.0005302
7	0.0009426	0.015754
8	0.014334	0.015754
9	0.026937	0.015754
10	0.026937	-0.010860
11	0.019335	-0.010860
12	0.0008726	-0.010860
13	-0.013246	-0.010860
14	-0.027364	-0.010860
15	0.021658	
16	-0.000126	
17	0.000000	
18	0.000239	
19	0.000000	
20	0.001827	
21	0.000000	
22	-0.00125	
23	0.000000	

表 A3 第三組模態振型 UY,ROTZ 值

	UY	ROTZ
1	0.018992	-0.0083243
2	0.013165	-0.0083243
3	0.010667	-0.0083243
4	-0.000154	-0.0083243
5	-0.011808	-0.0083243
6	-0.022630	-0.0083243
7	-0.022630	0.0012504
8	-0.012001	0.0012504
9	-0.001998	0.0012504
10	-0.001998	0.0008444
11	-0.001407	0.0008444
12	0.000028	0.0008444
13	0.001125	0.0008444
14	0.002224	0.0008444
15	0.060609	
16	0.001234	
17	0.000000	
18	-0.00110	
19	0.000000	
20	-0.00014	
21	0.000000	
22	0.000105	
23	0.000000	

表 A5 第五組模態振型 UY,ROTZ 值

	UY	ROTZ
1	-0.016225	0.0064215
2	-0.011760	0.0064215
3	-0.009833	0.0064215
4	-0.001485	0.0064215
5	0.0075051	0.0064215
6	0.015853	0.0064215
7	0.015853	-0.013334
8	0.0045189	-0.013334
9	-0.006148	-0.013334
10	-0.006148	0.0024561
11	-0.004429	0.0024561
12	-0.000254	0.0024561
13	0.002939	0.0024561
14	0.006132	0.0024561
15	0.075328	
16	-0.001114	
17	0.000000	
18	0.0007115	
19	0.000000	
20	-0.000419	
21	0.000000	
22	0.000278	
23	0.000000	

表 A6 第六組模態振型 UY,ROTZ 值

	UY	ROTZ
1	0.0000356	0.00000170
2	0.0000368	0.00000170
3	0.0000373	0.00000170
4	0.0000395	0.00000170
5	0.0000419	0.00000170
6	0.0000441	0.00000170
7	0.0000441	-0.0001832
8	-0.0001115	-0.0001832
9	-0.0002581	-0.0001832
10	-0.0002581	-0.0004471
11	-0.0002894	-0.0004471
12	-0.0003654	-0.0004471
13	-0.0004235	-0.0004471
14	-0.0004816	-0.0004471
15	-0.0000014	
16	-0.002521	
17	0.000000	
18	-0.002871	
19	0.000000	
20	0.019816	
21	0.000000	
22	0.029001	
23	0.000000	

表 A8 第八組模態振型 UY,ROTZ 值

	UY	ROTZ
1	-0.0014782	0.00061770
2	-0.0010458	0.00061770
3	-0.0008605	0.00061770
4	-0.0000575	0.00061770
5	0.0008073	0.00061770
6	0.0016103	0.00061770
7	0.0016103	-0.00081445
8	0.0009180	-0.00081445
9	0.0002665	-0.00081445
10	0.0002665	-0.00010998
11	0.0001895	-0.00010998
12	0.00000251	-0.00010998
13	-0.0001405	-0.00010998
14	-0.0002834	-0.00010998
15	0.00003236	
16	0.027502	
17	0.000000	
18	-0.021230	
19	0.000000	
20	-0.004983	
21	0.000000	
22	0.0036938	
23	0.000000	

表 A7 第七組模態振型 UY,ROTZ 值

	UY	ROTZ
1	-0.0002846	-0.0000298
2	-0.0003055	-0.0000298
3	-0.0003144	-0.0000298
4	-0.0003532	-0.0000298
5	-0.0003949	-0.0000298
6	-0.0004337	-0.0000298
7	-0.0004337	0.00024291
8	-0.0002272	0.00024291
9	-0.0000328	0.00024291
10	-0.0000328	-0.00000247
11	-0.0000346	-0.00000247
12	-0.0000388	-0.00000247
13	-0.0000420	-0.00000247
14	-0.0000452	-0.00000247
15	0.0000118	
16	0.021490	
17	0.000000	
18	0.027783	
19	0.000000	
20	0.0024334	
21	0.000000	
22	0.0029552	
23	0.000000	

表 A9 第九組模態振型 UY,ROTZ 值

	UY	ROTZ
1	-0.000298	0.0001292
2	-0.000208	0.0001292
3	-0.000169	0.0001292
4	-0.0000011	0.0001292
5	0.0001798	0.0001292
6	0.0003478	0.0001292
7	0.0003478	-0.0012834
8	-0.000743	-0.0012834
9	-0.001769	-0.0012834
10	-0.001769	0.0007129
11	-0.001271	0.0007129
12	-0.000058	0.0007129
13	0.000868	0.0007129
14	0.001795	0.0007129
15	0.0000063	
16	0.0046938	
17	0.0000000	
18	-0.004059	
19	0.0000000	
20	0.028679	
21	0.000000	
22	-0.01959	
23	0.000000	