

I-19

白鳥大橋主塔部地震時挙動

室 蘭 工 業 大 学	正員	松岡健一
室 蘭 工 業 大 学	正員	岸 徳光
北 海 道 開 発 局	正員	和田忠幸
メイセイエンジニアリング(株)	正員	小針憲司

1. はじめに

現在室蘭港に建設中の白鳥大橋は主径間720mの吊り橋であるが、架橋地点の岩盤は航路中央部に向かって摺り鉢状に傾斜しているため、主塔基礎は大深度基礎となっている。このような大深度基礎はあまり前例がなく、工法も人工島を造り、連続地中壁を構築した後、内部掘削の上主塔基礎を施工するもので、施工段階毎の地震時挙動は大変興味ある問題である。

著者らは、これまで大深度地中連続壁構造体の地震時挙動として、リング要素を用いた解析により、白鳥大橋主塔基礎の地震時挙動を解析し発表している^{1),2)}。

本論文では、主塔自体もリング要素に置換し、主塔基礎本体の施工から、主塔完成までの各段階毎の地震時挙動を解析したものである。主塔自体をリング要素に置換するという仮定をしているため厳密な解析にはならないが、これにより地盤、連壁、基礎および主塔を一体とした解析が可能であり、全体的な地震時挙動の把握を行うための資料を与えるものと思われる。

2. 解析理論

解析理論については以前に発表しているので詳細には述べないが、図-1のような任意四辺形アイソパラメトリックリング要素を用い、周方向に有限Fourier変換を行い定式化をしている¹⁾。

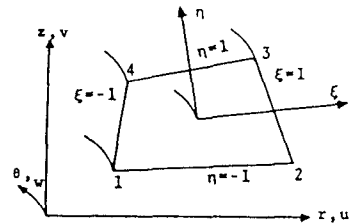


図-1 アイソパラメトリック
四辺形リング要素

3. 主塔基礎及び主塔のモデル化

ここでは陣屋側の主塔(3P)を取り上げるものとすれば、主塔及び主塔基礎の形状は、図-2及び図-3のようである。図に明らかなように、主塔はもとより基礎本体においても完全な軸対称構造ではないが、これをリング要素法による取り扱いが可能となるよう

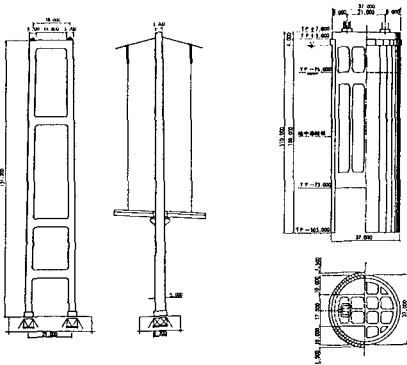


図-2 主塔の形状

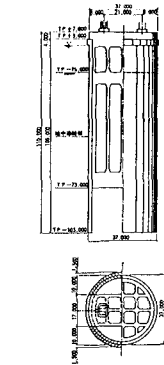


図-3 主塔基礎の形状

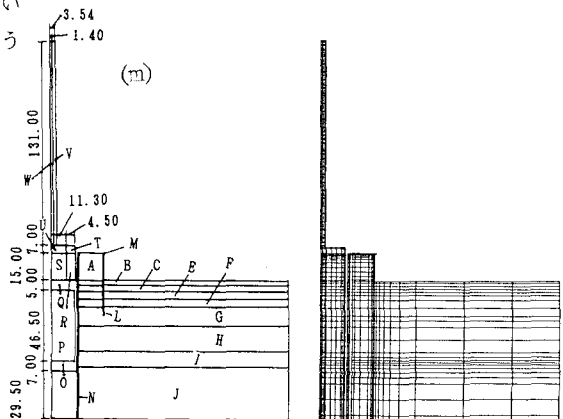


図-4 解析モデル及びメッシュ図

それぞれ剛性と質量が等しい軸対称構造にモデル化し、解析することとする。剛性は橋軸方向と橋軸直角方向で異なるためモデル化もそれぞれについて行った。モデル化を行いメッシュ分割を行ったときのメッシュ図と各部の寸法及び換算物性値を図-4及び表-1に示す。

表-1 材料定数表

4. 数値計算

主塔基礎の施工時の地震応答解析については、既に基礎本体側壁打設時までの施工段階に対して行い発表している。ここではさらに次の施工段階に対して解析するものとする。

- a) 基礎本体底盤打設時(CASE-1)
- b) 基礎本体中頂盤打設時(CASE-2)
- c) 主塔完成時

c)に対しては、橋軸方向(CASE-3)及び橋軸直角方向(CASE-4)の2ケースについて解析している。なお、計算に用いた減衰定数は0.1である。

図-5には各ケースの一次および二次の固有周期とともにモードを示している。CASE-1とCASE-2では一次、二次ともほとんど同じ固有周期1.21secを示しており、この値は築島の場合の一次固有周期1.18secより僅かに長くなっている。CASE-3では、一次の固有周期が、CASE-1,2に比べ二倍以上長くなっているが、CASE-4では、僅かしか長くなっていない。これは、CASE-3では塔の部分がかなり剛性が小さいためその影響が大きく現れており、主として塔の自由振動に起因している。

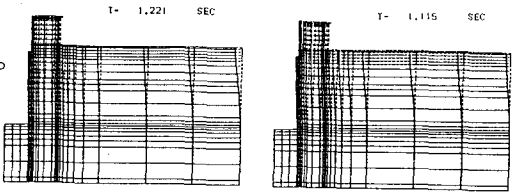
図-6には、CASE-1に対して、(a)のような地震波を基盤に入力したときの代表的な点の加速度応答波形を示した。入力地震波は卓越周期が約1秒で、この系の固有周期に比較的近い波である。連壁に沿う点の応答では、やはり上部になる程応答が大きくなっている。

図-7～10には各CASE毎に最大変位及び最大応力が発生

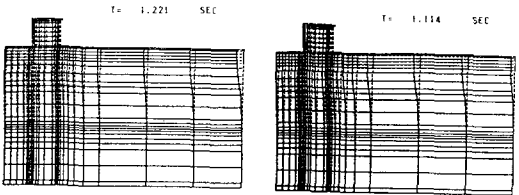
	E (kg/cm ²)	ν	ρ (t/m ³)		E (kg/cm ²)	ν	ρ (t/m ³)
A	1000.0	0.05	1.66	H	2630.0	0.45	1.75
B	500.0	0.45	1.70	I	7840.0	0.45	1.80
C	645.0	0.45	1.70	J	15600.0	0.30	1.70
E	620.0	0.45	1.70	L	20000.0	0.30	0.30
F	580.0	0.45	1.80	M	2.1 × 10 ⁶	0.30	7.85
G	715.0	0.45	1.65	N	3.0 × 10 ⁶	0.20	2.45

Case-1			Case-2, 3, 4		
	E (kg/cm ²)	ν	ρ (t/m ³)		ρ (t/m ³)
O	3.0 × 10 ⁶	0.20	2.45		
P					
Q					

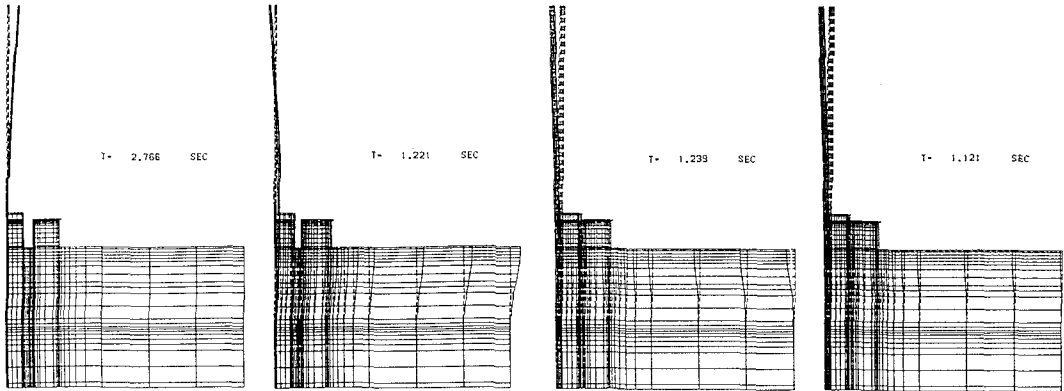
Case-3			Case-4		
	E (kg/cm ²)	ν	ρ (t/m ³)		ρ (t/m ³)
R	1.5 × 10 ⁶	0.20	0.76		
S	1.5 × 10 ⁶	0.20	0.76		
T	3.0 × 10 ⁶	0.20	1.72		
U	3.0 × 10 ⁶	0.20	1.72		
V	2.1 × 10 ⁶	0.30	0.24		
W	2.1 × 10 ⁶	0.30	0.24		



CASE-1



CASE-2



CASE-3

CASE-4

図-5 一次及び二次の振動モード

する時刻の変位図及び主応力図を示した。図が小さいため応力分布ははっきりしないが、いずれの場合も、連壁、基礎本体、及び主塔の部分に応力が集中していることが明かである。

図-7は、CASE-1のものであるが、変位は連壁天端で約3.3cm、応力は基礎底面下の連壁で27.6kg/cm²、基礎本体側壁下部で16.0kg/cm²となっている。

CASE-2では、図-8に示すように、変位はCASE-1とあまり変化なく連壁天端で約3.3cmであるが、応力は基礎本体隔壁の影響で基礎底面下の連壁では33.6kg/cm²に増加するものの基礎本体側壁下部では13.2kg/cm²に減少している。

橋軸方向からの入射を考えたCASE-3(図-9)では、変位は当然塔頂部で大きく最大14.3cmになり、応力の最大値も当然塔底部で生じこのモデルでは191.9kg/cm²を示している。この時の連壁や基礎本体の最大応力はそれぞれ32.4kg/cm²と12.9kg/cm²であり連壁には比較的大きな応力が生じているが基礎本体の応力は大きくない。

CASE-4は橋軸直角方向からの入射の場合である(図-10)。このとき主塔下部の最大応力発生時と連壁の最大応力発生時には時刻が異なるが、図には連壁に最大応力が発生するときのものを載せた。変位の最大はt=17.52secのとき塔頂で12.3cm、応力の最大は主塔下部ではt=17.52secの時

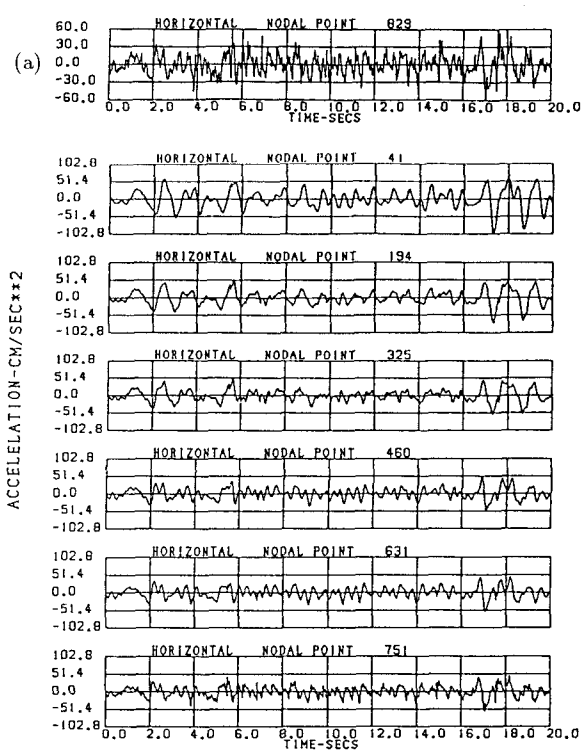


図-6 加速度応答波形(CASE-1、連壁)

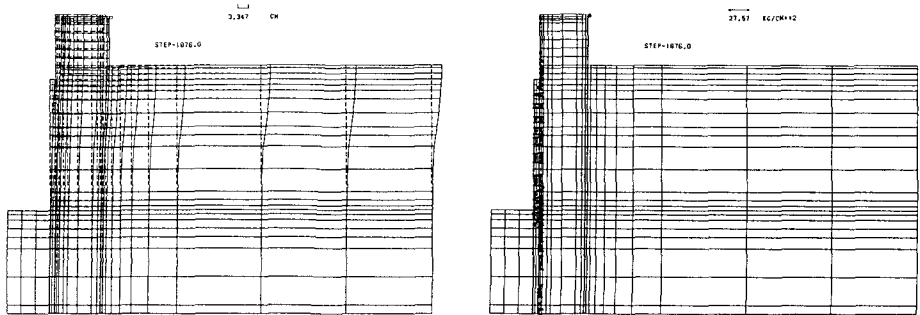


図-7 最大応答変位図及び主応力図(CASE-1)

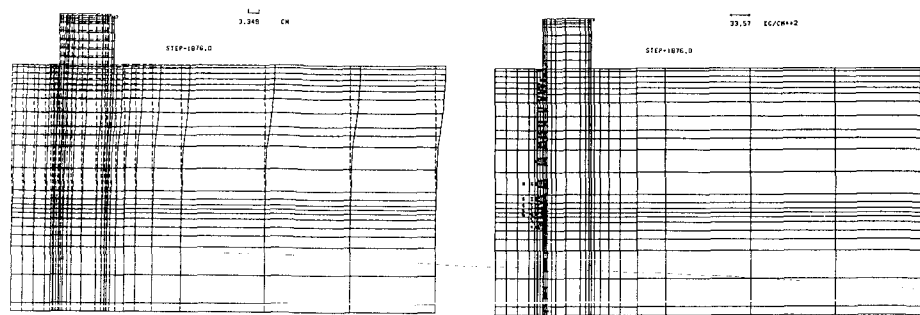


図-8 最大応答変位図及び主応力図 (CASE-2)

177.7kg/cm²、連壁では $t=18.77$ secのとき底面下の連壁で33.7kg/cm²、側壁下部で 13.6kg/cm²となっている。

以上各caseについて地震波入力による応答性状を考察したが、いずれの場合も基礎本体底面付近の連壁には多少大きな応力が生ずるものの、基礎本体の応力はあまり大きくなくここで検討を加えた施工段階に対しては安全であると思われる。なお、主塔の応力はモデル化をしているため正確な値ではないが応力から逆算した曲げモーメントはCASE-3で約3600tm、CASE-4で約39000tmとなる。この曲げモーメントに対して塔全体を一つの断面として最大応力を求めれば、それぞれ断面係数が約1.21m³および 9.86m³となるので、約 300kg/cm²および約 400kg/cm²となる。

5. まとめ

白鳥大橋の主塔部に対して地盤、連壁、基礎本体及び主塔をそれぞれリング要素にモデル化し、各施工段階における地盤と構造物を一体化した地震応答解析を行った。その結果、

1. 一次の固有周期は、主塔を含めた橋軸方向の振動（CASE-3）に対して長周期となるものの他の場合にはそれほど変化はない。

2. 時刻歴応答解析結果では加速度は上部において大きく、入力加速度に対して約2～3倍の加速度となっている。

3. 変位の最大値はCASE-1,2では連壁の天端で約3.3cm、CASE-3,4では塔頂で12～14cmといずれも上部で大きな変位となっている。

4. 応力の最大値はいずれも、連壁では基礎本体底部付近で約30kg/cm²、基礎本体で約15kg/cm²となっている。

以上、本解析ではモデル化に多少問題があるものの、これにより地盤、基礎、塔を一体とした三次元応答解析を行うことができ、全体としてより実際の地震時挙動を把握することができるものと思われる。

参考文献

- 1) 能町,松岡,磯田,和田,小針：土木学会北海道支部論文報告集, 第45号, pp165-170, 1989.
- 2) 松岡,岸,能町,和田,小針：土木学会第44回年次学術講演会講演概要集, 第1部, pp954-955, 1989.

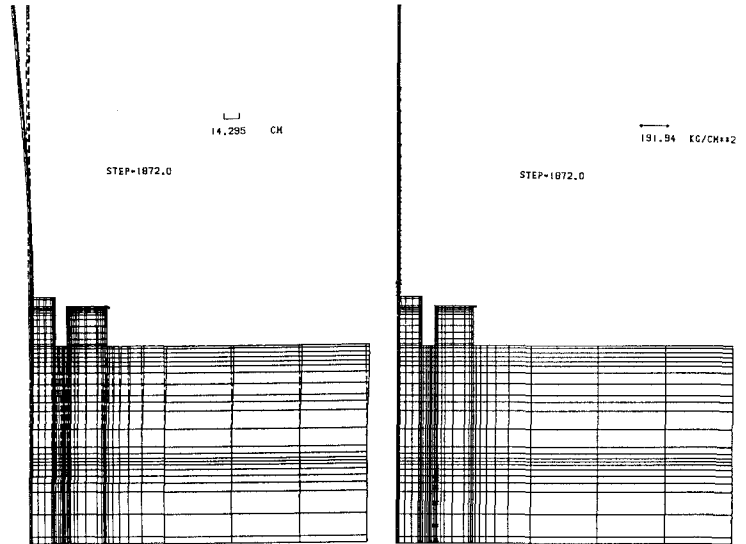


図-9 最大応答変位図及び主応力図(CASE-3)

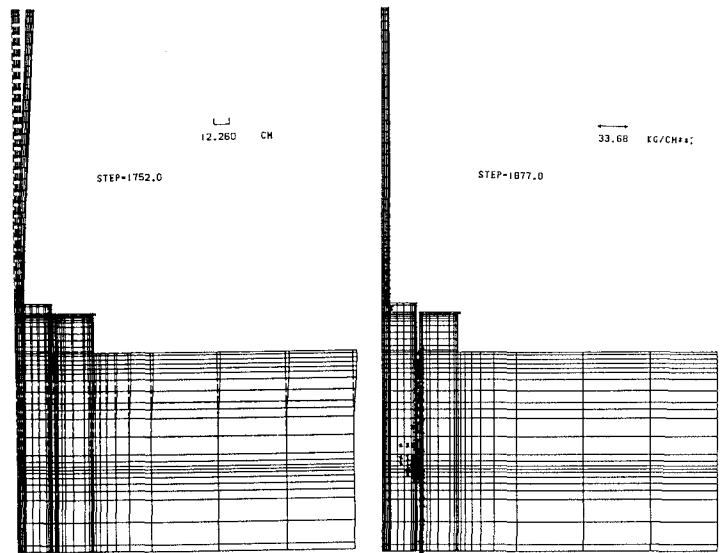


図-10 最大応答変位図及び主応力図(CASE-4)