

火力発電所ボイラー建家の振動特性に関する実験的研究 (その2)

——動的解析モデルの一試案——

渡辺 清 治 角 田 智 彦
安 井 讓 金 子 正 孝

Experimental Study on Vibrational Characteristics of Boiler Building of Thermoelectric Power Plant (Part 2)

——Tentative Plan of Dynamic Analysis Model——

Seiji Watanabe Tomohiko Tsunoda
Yuzuru Yasui Masataka Kaneko

Abstract

In the previous paper (Part 1) the authors reported on carrying out vibration tests with the intention of making a dynamic analysis model, and described the results of these vibration tests. In this paper, the authors describe the modelling process of boiler building superstructure for dynamic analysis, and investigate the propriety of this dynamic model. It is therefore considered that a useful modelling method for boiler buildings has been obtained.

概 要

前報¹⁾では、動的設計用のモデル化に役立てることを目的として実施した、実機ボイラー建家の一連の振動実験の概要とその結果について報告した。この報告では、ボイラー建家の並列多質点系へのモデル化とその固有値解析及び定常応答解析について述べ、さらに解析結果を振動実験結果¹⁾と比較検討し、モデル化の妥当性を検討した。

その結果、このモデルはボイラー建家の動的解析モデルとしてほぼ妥当であり、解析にあたっては、ボイラー本体外箱の動特性がボイラー建家全体の固有振動特性に影響を与えるので、ボイラー本体外箱の動特性を十分に考慮する必要があることが分かった。

1. まえがき

一般に、火力発電所のボイラー建家は鉄骨部材で構成された複雑な吊り構造物であり、ボイラー本体とそれを屋上より吊り下げるボイラー支持鉄骨フレームよりなる。このボイラー建家の動的モデル化にあたっては、ボイラー本体がボイラー建家上部構造の全重量の4割強もの大重量を占めるため、ボイラー本体の取り扱い方が一つの大きな問題となる。ちなみに、今回対象とした実機のボイラー建家の重量は、上部構造が約1万 ton、基礎構造が約1万 ton である。

更に、ボイラー本体が吊り下がっているために、ボイラー支持鉄骨フレームは、その部分が吹き抜けになって

おり各通りラーメンに不均一な動特性が生じやすいことや、ボイラー建家と連なるタービン建家との連成効果など、動的モデル作成上考慮すべき問題点がいくつかある。

ここではこれらの問題点を考慮した、ボイラー建家の並列多質点系へのモデル化とその固有値解析及び定常応答解析について述べ、さらに解析結果を振動実験結果と比較・検討し、モデル化の妥当性を検討した。

なお、解析は、起振機実験¹⁾がNS方向だけ実施しているため、NS方向のみである。

2. ボイラー支持鉄骨フレームのモデル化

ボイラー建家の概観図を図-1に示す。ボイラー建家(ボイラーブロック)とそれに隣接するタービン建家(タ

ービンプロック)の床伏せ図(3階)とラーメン図(㊸ラーメン)をそれぞれ図-2, 図-3に示す。

ボイラー支持鉄骨フレームは, 図-4に示すように, 37質点を有する並列多質点系にモデル化する。タービンプロックは床を剛と仮定して㊸から㊸通りまでを1列の曲げせん断系に置換する。ボイラーブロックは㊸から㊸通りをそれぞれ1列の曲げせん断系に置換し, 各階床位置で床剛性と等価な曲げせん断バネで連結する。タービンプロックとボイラーブロックは, せん断バネで連結する。

このようにしてモデル化したボイラー支持鉄骨フレームの固有値解析結果のうち, 全体1次の固有振動数及び振動モードを実験結果と比較して図-5に示す。同図より, 実験と解析が良く一致していることが分かる。この解析結果は, ボイラーブロックの㊸ラーメンを1列の曲げせん断系に置換した際に, ㊸ラーメンの北側に位置するタービンプロックの㊸ラーメンの曲げせん断剛性も考慮している。ここには掲載していないが, ㊸ラーメンが全体1次振動モードに対して影響を与えるので, モデル化の際には㊸ラーメンを考慮した方が良いことが分かった。

3. ボイラー本体のモデル化

ボイラー本体は, 側壁パネルで構成された外箱と, この外箱の内部にヘッダー管を介して吊り下がっている内部パネルよりなる。

外箱は, 図-6に示すような断面の側壁パネルが図-7のように配置されており, 側壁パネルの保温材及び波型鉄板は無視し, 炉壁管パネルのみを考慮して, 図-8に示すような7質点の曲げせん断系に置換する。質点の位置は, 振れ止め(ストッパー)の番号で㊸上, ㊸下, ㊸, ㊸のある高さ位置である。

内部パネルは, 図-9のような形状をしており, Sパネル群(S, R-7, R-8), E-5パネル群(EV, R-3a, R-3b, E-5)をそれぞれ1質点系に置換する。

ボイラー本体をボイラー支持鉄骨フレームから吊り下げている吊りバネの剛性は, 外箱及び内部パネルを吊っている丸鋼の形状・寸法, 吊り元の平面的位置を考慮して求める。

以上のモデル化において, 外箱の側壁部はせん断剛性, 吊り元の丸鋼部では曲げ剛性が支配的である。なお, 解析で求めた外箱のバネ剛性は, 振動実験結果の振り子振動モードと固有振動数から求めた値と良く一致している。

4. ボイラー建家の動的解析モデル

ボイラー支持鉄骨フレームとボイラー本体を結合したボイラー建家の動的解析モデルを, 図-10に示す。合計

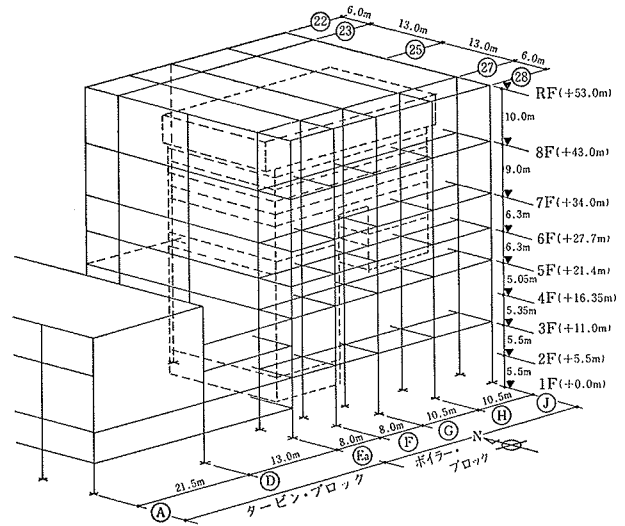


図-1 ボイラー建家の概観図

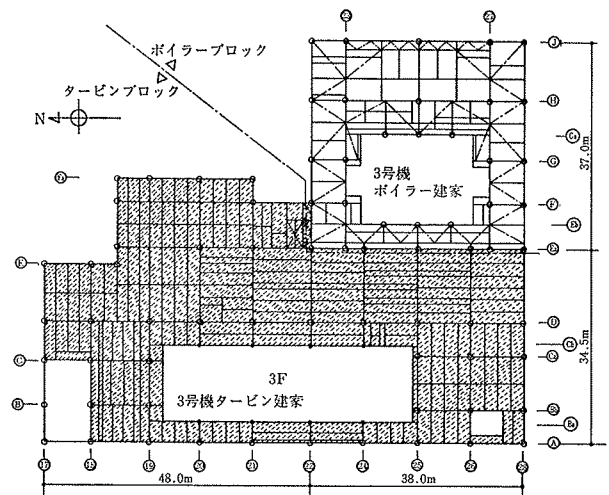


図-2 3階床の剛性評価モデル

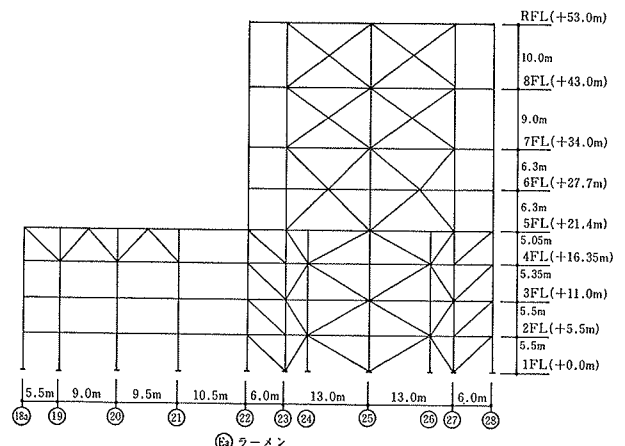


図-3 ㊸ ラーメンの剛性評価モデル

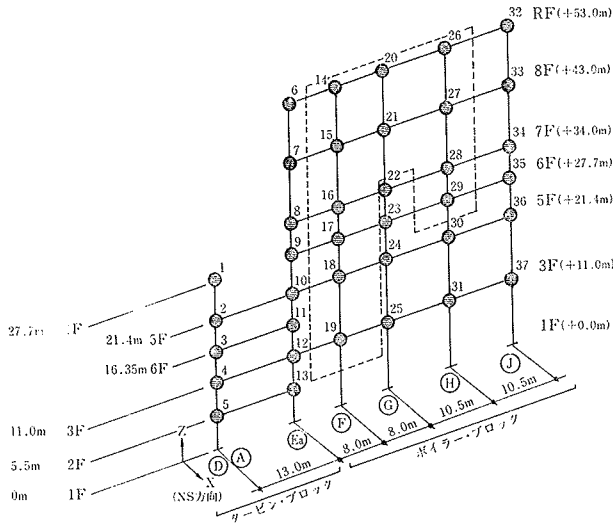


図-4 ボイラー支持鉄骨フレームの解析モデル

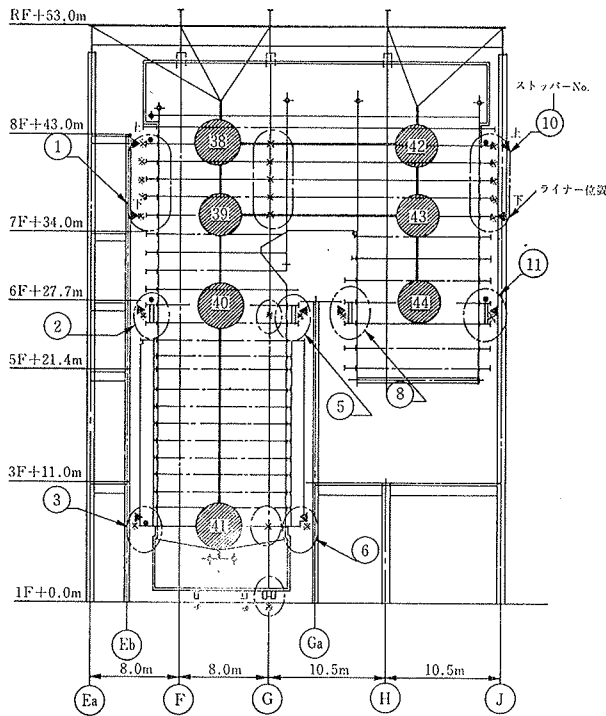


図-8 ボイラー本体外箱の解析モデル

46質点の曲げせん断系となる。ここでは、この結合モデルによって、ストッパーをきかせない場合 (CASE 1: ライナー $\textcircled{\ominus}$) と、きかせた場合 (CASE 2: ライナー $\textcircled{\oplus}$) に相当する固有値解析と定常応答解析を行ない。その結果を起振機実験結果と比較・検討してモデル化の妥当性を検討する。

この時、図-10に示すようにストッパー部のバネ効果を考慮し、ストッパー部のバネ剛性は、ストッパー部を構成する鋼材を図-11に示すように平面フレーム要素としてモデル化して求めた。

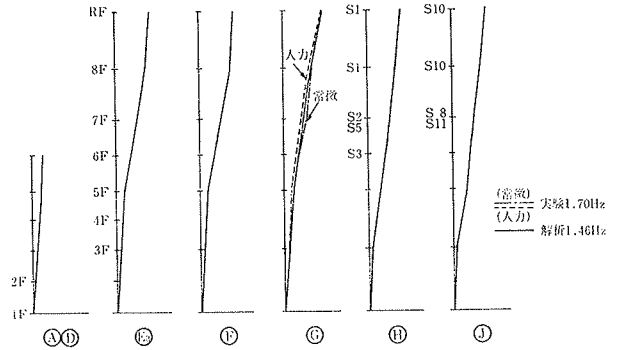


図-5 全体1次 (支持フレームのみの状態)

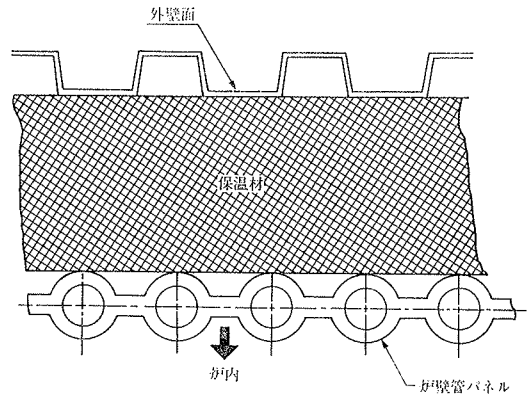


図-6 ボイラー本体外箱の側壁断面

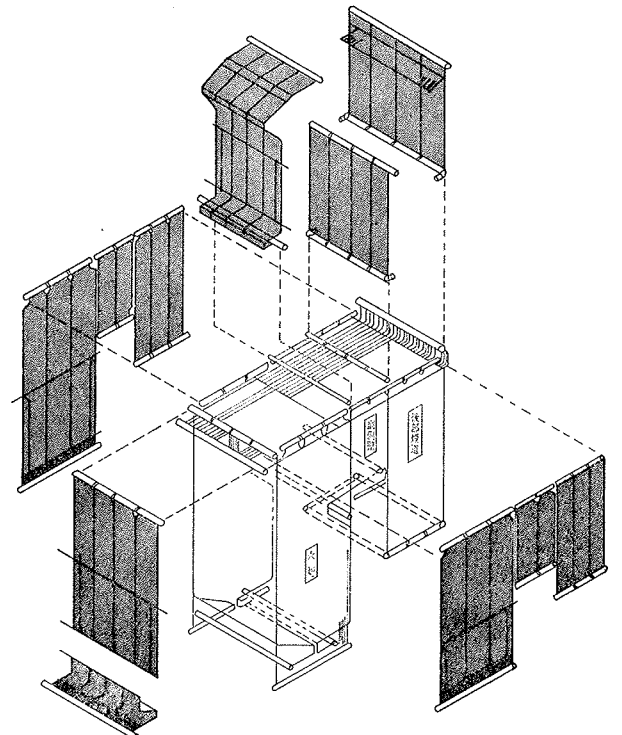


図-7 ボイラー本体外箱の側壁構成パネル

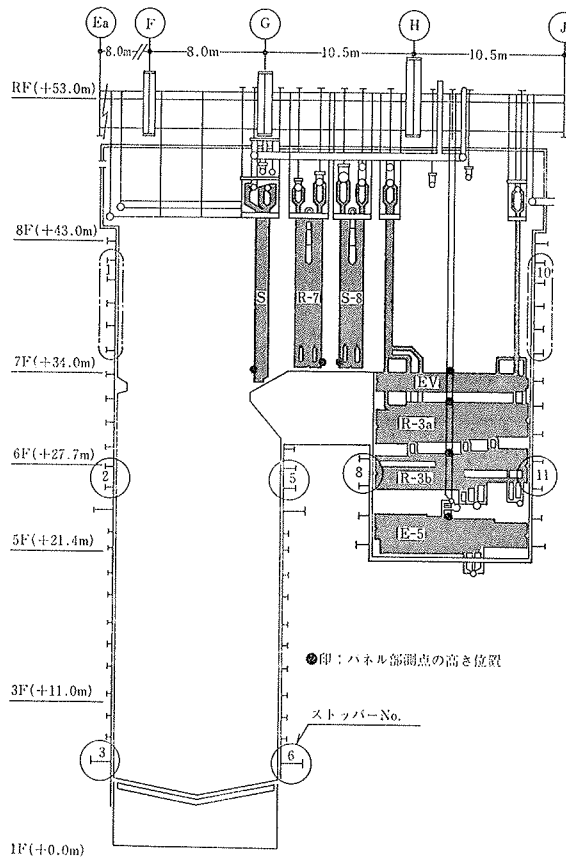


図-9 ボイラー本体の内部パネルの概況図

ストッパー部の役割は、地震時に作用するボイラー本体の水平力をボイラー支持鉄骨フレームに伝達することで、図-11に示すように、ボイラー本体のバックステイからの鉄骨アームが、支持フレームからの鉄骨アームを両面からコの字型に抱き込む形をしている。ボイラー稼動時には、熱膨張によってこのストッパー部で各々の鉄骨アームが接触し、ボイラー本体外箱と支持鉄骨フレーム間で連成バネ効果を発揮することが考えられる。

4.1. 固有値解析結果

固有値解析結果のうち、各次固有振動数を表-1に、CASE 1の全体1次振動モードとボイラー本体の振り子振動モードをそれぞれ図-12、図-13に、起振機実験結果と比較して示す。固有振動数および固有振動モードとも、実験と解析がほぼ一致していることが分かる。ここにはすべての結果は示していないが、ケーススタディを行なったところ、ライナー㊸の起振機実験時においても図-11に示す接触面を片面剛として解析で求めた、ストッパー部のバネ剛性の1/15程度のバネ剛性が、ボイラー本体外箱と支持鉄骨フレーム間にあったと推測できる。起振機実験時には、ボイラー本体外箱と支持鉄骨フレーム間には鋼管足場が各階の四方に設置されており、これがボイラー本体外箱の動きを拘束して、ストッパー部のバネと同じ役割を果たしたためと考えられる。更に、この

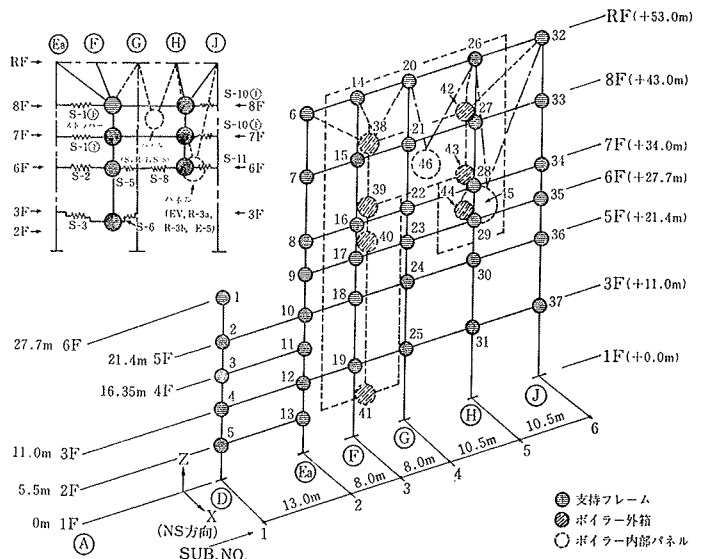


図-10 ボイラー建家の動的解析モデル

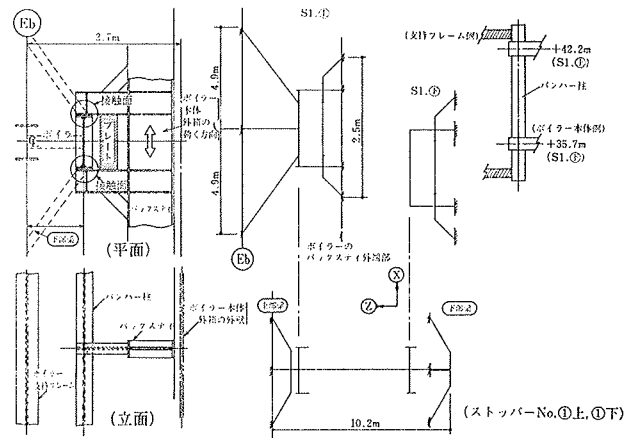


図-11 ストッパー部の剛性評価モデル

振動モードの特徴 (起振機実験)	ボイラー 反 梁		S1~S3 振り子		S10,S11の 振り子		4次 振動領域				
	全体1次	1次	全体2次	2次	全体3次	3次	4次	4次			
起振機 実 験	ライナー㊸	1.16	1.83	2.3	4.2	5.0	6.8	7.4以上			
	ライナー㊹	1.21	1.83	2.5	4.3	5.15	6.8	7.5以上			
振動モードの特徴 (解 析)	全体1次	ボイラー 反 梁	タービン 1次	S1~S3 振り子	タービン 2次	S1~S3 2次	全体3次	S10,S11 2次	4次 振動領域		
解析上の次数	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
解 析	CASE 1 (ライナー㊸に相当)	1.13	1.82	2.19	2.88	4.59	5.02	5.48	6.42	6.63	7.16
	CASE 2 (ライナー㊹に相当)	1.19	1.92	2.27	2.92	4.60	5.02	5.52	6.43	6.66	7.17

表-1 固有振動数の比較 (HZ)

ケーススタディの結果、ライナー㊸の起振機実験時のストッパー部のバネ剛性は、接触面を片面剛として解析で求めたバネ剛性の1/10程度であったと推測される。このことは、起振機実験結果の固有振動モードの推移および固有振動数のライナー㊸, ㊹による差がさほど無いことから理解できる。

4.2. 定常応答解析結果

定常応答解析は、表-1に示したライナー㊸, ㊹に相

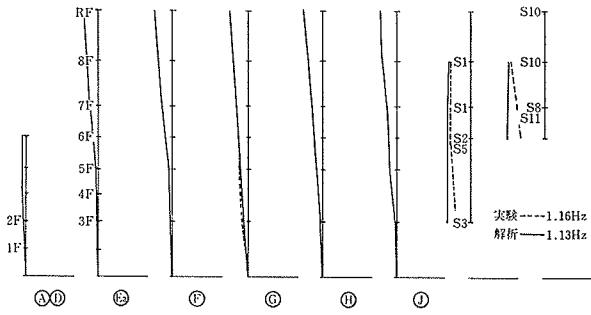


図-12 全体1次振動 (ライナー無に相当)

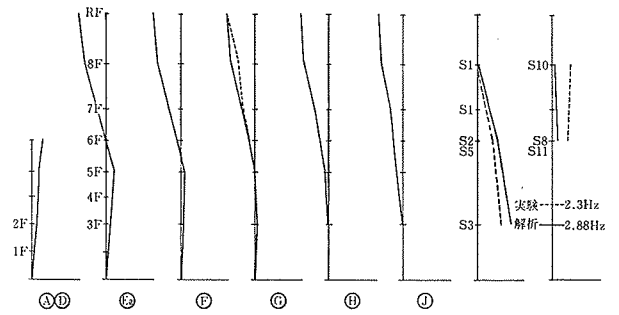


図-13 S1からS3の振り子振動(ライナー無に相当)

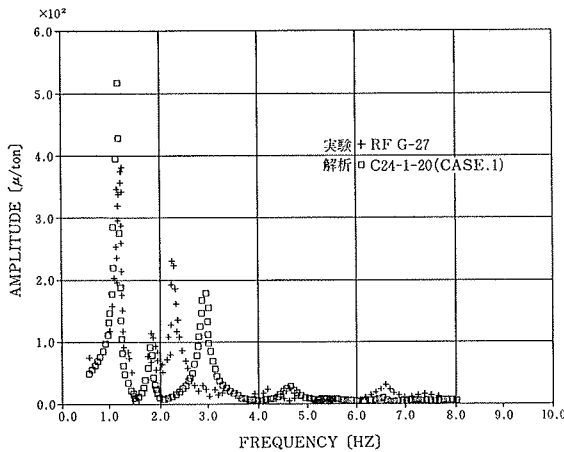


図-14 応答曲線の比較 (ライナー無に相当)

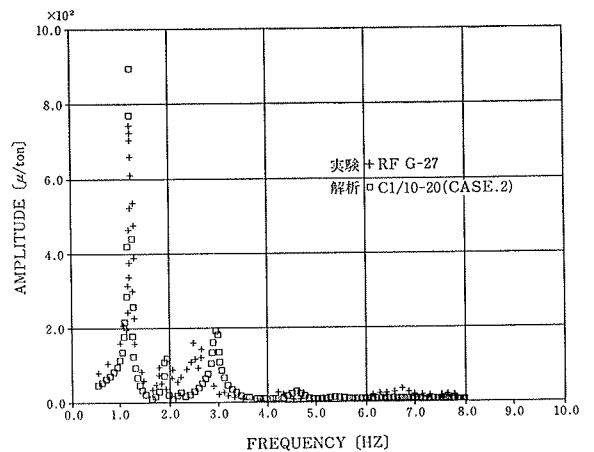


図-15 応答曲線の比較 (ライナー有に相当)

当する CASE 1 と CASE 2 の固有値解析結果を使用して行なった。解析手法は通常のモーダル法であり、考慮したモード次数は解析上の18次迄である。減衰定数は、各次モードごとに起振機実験で求めた平均値(㊦；全体1次では㊦ 1.42%，㊧ 2.28%，振り子振動では㊦ 2.40%，㊧ 2.92%)を与えており、解析上の11次以上の各次減衰定数は3%を与えた。

解析結果のうち、CASE 1, 2 の質点番号20の応答曲線をそれぞれ図-14、図-15に起振機実験結果と比較して示す。これらの図より、実験と解析の応答性状がほぼ一致していることが分かる。

ボイラー建家の起振機実験に対応する刺激関数は、ライナーの㊦、㊧の状態にかかわらず、全体1次振動とボイラー本体の振り子振動が大きく刺激され、全体2次、全体3次ほか高次の刺激関数は、ほとんど刺激されない傾向がある。この性状は、起振機実験でも確認されており、地震時の刺激関数についても同様の傾向がある。

5. まとめ

このボイラー建家の動的モデル化は、起振機実験結果と比較・検討した結果、ほぼ妥当であることが分かった。

ボイラー建家の固有振動性状の一つの大きな特徴は、

ボイラー本体外箱の動特性が建家全体の動特性に影響を与えることである。動的モデル化にあたっては、ボイラー本体外箱の動特性を十分に考慮する必要があると思われる。なお、現在当ボイラー建家では、地震観測を実施しており、次回に、観測地震波との対応について述べたい。

謝辞

この調査研究は、中国電力(株)と当技術研究所との共同研究の一端として実施されたものである。このモデル化を実施するにあたっては、中国電力(株)土木部建築担当、中国電力(株)岩国発電所建設所土木部建築課の多数の方々のお世話になりました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡辺, 他: 火力発電所ボイラー建家の振動特性に関する実験的研究(その1), 大林組技術研究所報, No. 24, (1982), pp. 47~56
- 2) 田村, 他: 火力発電所ボイラー建屋の振動特性に関する実験的研究(その5), 日本建築学会大会学術講演梗概集, (昭和57.10), pp. 809~810