

三次元写真計測と実振動計測を利用した構造物の劣化・耐震性評価に関する研究

長崎大学 学生会員 ○川林 大祥 長崎大学 正会員 松田 浩

長崎大学 非会員 山下 務

1. はじめに

構造物の劣化・耐震性評価を行うには、現況調査や安全診断をする必要がある。しかし、適確な調査法や試験法、診断法はまだ十分には確立されてない。また、構造物の調査には、高所作業を伴い、足場などを必要とする場合が多く、危険かつ経費がかかる。そのため、MEMSを用いた遠隔計測による診断技術を用いることが望まれている。

また、近年、頻発している大規模地震に対する耐震性能を評価すると、補強を講じなければならない場合が多数存在する。FE解析による数値シミュレーションを行うことにより、補強効果を推定することもできるようになった。

本研究では、デジタルカメラを用いて三次元写真計測を実施し、FE解析モデルを作成するとともに、レーザドップラ速度計により、実構造物の固有振動数を実測し、FE解析モデルの境界条件の決定を行った。また、その境界条件の下で、非線形地震応答解析を実施した。

2. 三次元写真計測

2.1 計測概要および計測結果

昭和52年に建造された長崎大学文教キャンパスにある煙突の形状計測を行った(図1(a))。本研究では、市販のデジタルカメラ(600万画素)による三次元写真計測を採用した。計測方向は4方向から行い、各方向3枚ずつ、計12枚の画像データを撮影した。各方向から取得したデータをつなぎ合わせることで、煙突全体の形状データを作成した(図1(b)(c))。

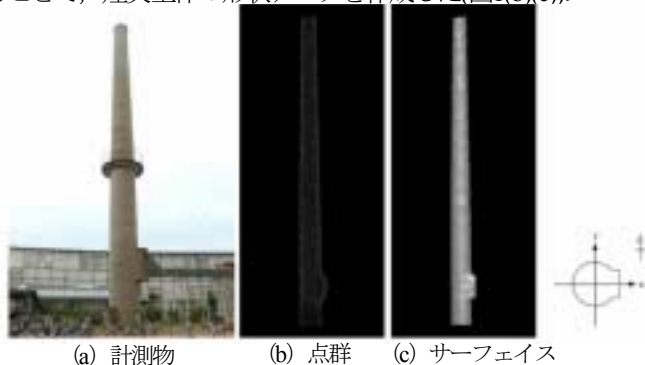


図1：計測物および計測結果

3. 固有振動計測

3.1 概要

本研究では、非接触による振動計測をすることを目的として、レーザドップラ速度計(LDV)による方法を採用した。本計測器は構造物にレーザ光を照射し、その反射光を受光し、反射光のドップラ効果(図2)を利用して、物体の速度を非接触で検出するものである。また、数m～数十m離れた場所から構造物の振動を測定でき、センサ設置など高所作業を伴う危険な測定作業を回避できる。また、比較的大きな

応答から、常時微動まで測定可能である。

3.2 遠距離計測における精度

レーザドップラ速度計は遠距離における計測が可能である。そこで、図3に示すアルミ合金製の試験(A-type,B-type)を用いて性能照査を行った。計測距離を5～50mと変え、各距離でハンマリング試験を実施し、レーザドップラ速度計を用いて振動波形を計測し(サンプリング周波数：1000Hz)、固有振動解析を行った。30m以上では、計測器が受信するレーザ光が弱くなり、計測が困難となったため、試験片に再帰性反射シールを貼付した。

固有振動実験による固有振動数と比較したものを表1に示す。この結果より、実験値との誤差は小さく、計測距離に関わらず誤差のばらつきが少ないことから、遠距離計測において距離に関係なく高精度な計測ができることがわかる。

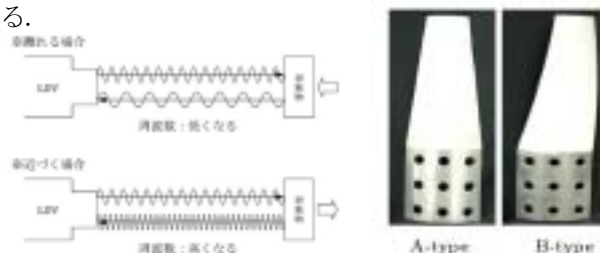


図2：ドップラ効果

図3：試験片

表1：固有振動数

		A-type		B-type	
		周波数 (Hz)	誤差 (%)	周波数 (Hz)	誤差 (%)
実験値		346.5	0.0	241.0	0.0
計測値	5m	351.9	1.6	246.1	2.1
	10m	354.1	2.2	246.3	2.2
	15m	350.5	1.1	246.1	2.1
	20m	351.1	1.3	247.3	2.6
	25m	352.0	1.8	247.2	2.6
	30m	350.2	1.1	244.8	1.7
	40m	350.0	1.1	244.3	1.4
	50m	349.5	0.8	243.4	1.0

3.3 常時微動計測

実構造物において歴的構造物や大規模構造物などでは、ハンマリング試験やワイヤカット試験を容易に行えない場合がある。そこで、構造物の常時微動計測による固有振動解析を行った。加振による振動と常時微動の計測を行った。計測位置は地面から約10mの位置、煙突までの距離は約15mとし、サンプリング周波数は1000Hz、約5秒間計測を行った。

図4には加振した場合と常時微動の場合の振動波形およびそのフーリエスペクトルを示す。この結果より、加振した場合と常時微動の場合ともに、固有振動数は1.22Hzとなり、常時微動の場合であっても、加振した場合と同等に、固有振動数を特定できることが確認できた。

4. 有限要素解析

4.1 固有振動解析

FE解析によるシミュレーションを行う場合、境界条件の選定が精度に大きく影響する。そこで、常時微動計測による結果をもとに、境界条件を弾性地盤としてモデル化し、固有振動解析を行い、実現象に近い境界条件を決定した。解析モデルは写真計測より得られた形状データをもとに作成したモデルを用いた(図5)。

表2には完全固定の場合と弾性地盤の場合の固有振動数を示す。この結果、完全固定とした場合には、実際の固有振動数とは20%以上の誤差があった。しかし、弾性地盤としてモデル化することで、実現象に近い挙動を再現できた。

4.2 地震応答解析

作成した解析モデル、および境界条件を用いて、地震応答解析を行った。入力地震波には、兵庫県南部地震で観測された地震波を用い、解析手法としては、直接積分法であるNewmarkの β 法($\beta=1/4$)を用い、積分区間は0.02秒とした。材料特性はコンクリートの材料特性を用いた(弾性係数: 22.43Gpa, 圧縮強度: 17.64MPa, 単位体積重量: 24kN/m³)。地震応答解析を行った結果を図6に示す。完全固定とした場合、ひび割れは水平方向に入っていた。しかし弾性地盤とした場合、水平方向へひび割れが入ることはなかった。

5. レーザドップラ速度計を用いた欠陥診断

構造物は経年劣化のために、き裂やひび割れ、剥離が生じ、振動特性が変化する。そこで、レーザドップラ速度計を用いて、図7に示すアルミ合金製の片持ち梁(板厚: 1mm)の固有振動計測を行い、切り欠きの有無、位置、深さによる固有振動数の変化について比較検討を行った。

表3には切り欠きがない試験片の振動数を基準にし、比較したものを示す。この結果、切り欠き深さが深いほど振動数の変化量は大きくなり、また、切り欠き位置によっては振動数の増加を示すことがわかった。

6. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- ・三次元写真計測を利用することで、大型構造物の形状計測を行うことができた。
- ・レーザドップラ速度計を用いることで、非接触かつ遠距離計測により、構造物の固有振動数を特定することができた。
- ・三次元写真計測を利用したFEモデル作成、レーザドップラ速度計を利用した境界条件の決定を行うことができた。
- ・レーザドップラ速度計を用いて定期的に振動計測を行うことで、構造物の状態を知る手がかりとなりうる。

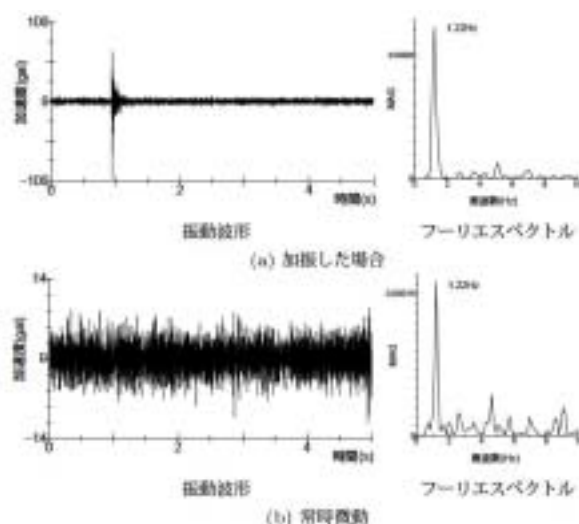


図4：振動波形およびそのフーリエスペクトル



図5：FEモデル

表2：固有振動数

	常時微動	境界条件	
		完全固定	弾性地盤
1次	1.22	1.48	1.22
(誤差)	(0.00)	(21.31)	(0.00)
2次	4.16	6.45	4.42
(誤差)	(0.00)	(44.62)	(6.01)

単位: Hz

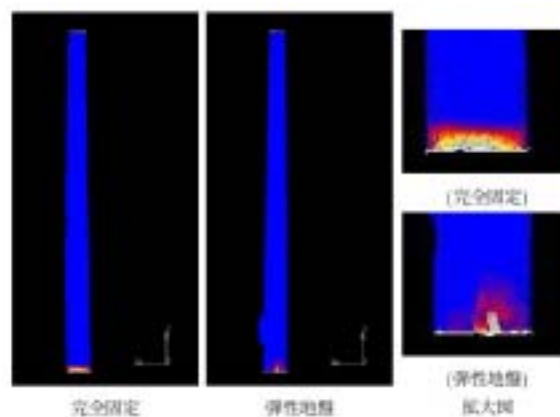


図6：ひび割れ分布図

表3：振動数

試験片種類	位置 (mm)	深さ (mm)	振動数 (Hz)	振動数比 (/A)
A	—	—	29.33	1.000
B1	60	0.2	29.51	1.006
B2	60	0.4	29.63	1.010
C1	100	0.2	29.14	0.994
C2	100	0.4	28.96	0.987
D2	140	0.2	28.99	0.988
D2	140	0.4	28.32	0.966

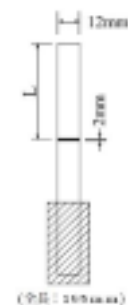


図7：試験片

参考文献

- ・井口征二, 佐藤宏介: 三次元写真計測, 1990
- ・谷尻豊寿: 画像処理入門, 1996
- ・大崎順彦: 新・地震動のスペクトル解析入門, 1994