

地震衝撃力を受けたRC煙突の応答

広島大学工学部 正会員○佐藤 誠
(株)大林組 正会員 川上 直也

1. はじめに

阪神・淡路大震災において、軸力が卓越して破壊したと推定される構造物の破壊が多数観察された。また、地震力が極めて瞬間的で衝撃的な载荷状態によるものと考えられる破壊も存在している。しかし、地震計が感知することのできる周波数領域は約30~40Hz以下であり、衝撃的な振動は精度よく測定できない状況にある。ここでは、上部が引張破断されたように見えるRC煙突の被害形態に注目し、衝撃的な地震力(地震衝撃力)が作用した可能性を検討した。

2. 解析モデルと入力条件

神戸海洋気象台で観測された兵庫県南部地震のN-SおよびU-D加速度記録をFig.1に示す。両者の最大値は4sから5sの間に集中しており直下型地震の特徴を示している。実地震応答には、Fig.1に示す観測記録のうち最初の主要動3s~6sを用い、また、地震衝撃力に対する応答には、Fig.2に示す周期 τ を変化させた正弦一波の衝撃的加速度と衝撃力を用いた。

Table 1に本研究で対象とするRC煙突の諸元を示す。解析モデルは、Fig.3に示す三次元モデルと二次元モデルを用いた。三次元モデルは煙突の断面積変化および曲げ剛性を正しく表現しており、N-SおよびU-D地震加速度に対して用い、二次元モデルは軸方向の断面積変化のみを正しく表現しており衝撃的上下動に対して、計算時間を節約するために用いた。上端から5mの断面をS1とし、下端に向かって断面S2~S5とする。各断面の自重による圧縮応力を示す。

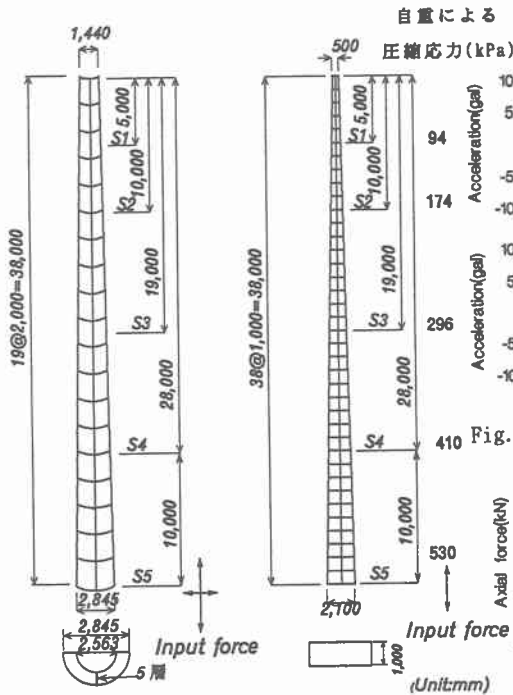


Fig.3 三次元モデルと二次元モデル

Table 1 RC煙突の諸元

高さ	38m
弾性係数	29.4GPa
単位体積重量	2.3t/m ³
ポアソン比	0.2
縦波速度	3,575m/s
設計圧縮強度	8.82MPa
設計引張強度	0.90MPa
総重量	119.6tf
断面積	上端 0.498m ² 下端 2.273m ²
鉄筋比	上端 0.1% 下端 0.9%

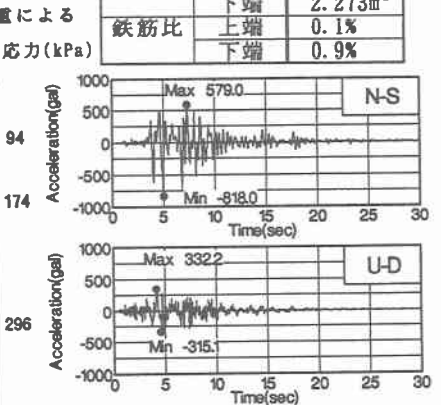


Fig.1 神戸海洋気象台観測記録

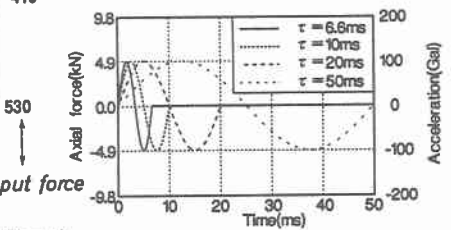


Fig.2 衝撃力と加速度

3. 解析結果

Fig.4に、実地震加速度のU-D成分を入力した結果を断面S5の軸力と断面S1~S4の軸応力で示す。なお、ここで示す結果は全て減衰定数を、 $h=0.01$ としている。入力加速度に対する慣性力が軸応力をほぼ支配

し、下方の断面ほど軸応力は増加する。たとえば、断面S4の最大軸応力は約125kPaで自重による軸圧縮応力0.41MPaより小さいため常に圧縮応力であり、実地震のU-D動によって引張破断する可能性はない。

Fig. 5に、実地震のN-S成分を入力した結果を断面S5のせん断力および各断面の曲げ応力を軸応力で示す。各断面の曲げ応力は、一次の曲げ振動が卓越し下方の断面ほど大きな曲げ応力となっている。自重による軸圧縮応力を考慮しても最初に引張強度を超える曲げ引張応力となるのは、断面S4より下方にある。少なくとも煙突上端に近い断面が引張破断することは考えられない。

Fig. 6に、上下動の地震衝撃力を入力した結果を示す。ただし、正弦波の周期は、先行した圧縮応力波が上端で反射し引張波となり、後続の引張波と上端から5mの断面(S1)で重なる時間(6.6ms)の場合を代表で示す。正弦波を入力すると同じ波形の応力波が上端に向かって伝播する。上端と下端で反射を繰り返して減衰の効果で滑らかになる。軸引張応力の最大値は断面積の小さい断面S1に現れる。

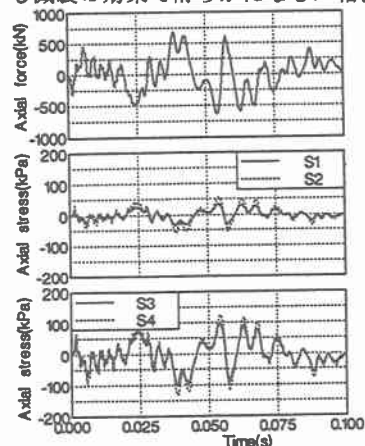


Fig. 4 U-D実地震波による結果

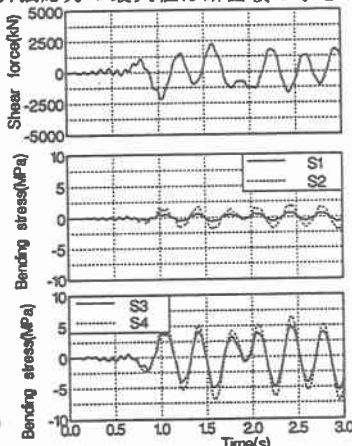


Fig. 5 N-S実地震波による結果

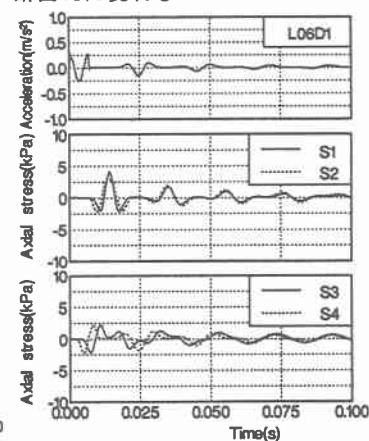


Fig. 6 衝撃力入力($\tau=6.6\text{ms}$)

4. 引張破断の可能性

上記により、地震衝撃力によって煙突が引張破断する可能性を検討するため、衝撃力および衝撃的加速度を入力した場合に対し、断面S5の加速度振幅を1,000Galに換算した各断面の最大軸応力をTable 2に示す。衝撃力入力の場合、 τ が縦振動の固有周期20msを越えると煙突全体の振動が卓越する。

加速度を入力した場合、周期が長くなるにつれて、最大軸応力が発生する断面は基部に近づく。衝撃力および加速度で断面S1付近が引張破断するためには、断面S2で3,000Gal以上断面S1で3,400Gal以上の振幅が必要である。

5. まとめ

(1)実地震波を入力した場合、U-D成分に対し各断面とも自重による圧縮応力を越える引張応力波発生せず、N-S成分に対しては、断面S4より下方で最大軸引張応力となり、少なくとも断面S3より上方で引張破断することはない。

(2)周期10ms(100Hz)で3,000Gal以上の振幅を持つ地震衝撃力が作用した場合に、断面S2より上方で引張破断を起こす可能性がある。

6. 参考文献

- 1)小野紘一他：土木構造物の震害，鴻池組阪神・淡路大震災被害調査報告書(第2報)，pp.81-88，1995。

Table 2 各断面の最大軸応力(kPa/1,000Gal)

入力 (ms)		断面(上段:h=0,下段:h=0.01)			
		S1	S2	S3	S4
衝撃力 (τ)	6.6	282	141	113	98
		152	119	83	81
	10.0	328	384	176	147
		244	292	155	139
	20.0	68	118	157	127
		—	—	—	—
加速度 (τ)	6.6	310	280	225	195
		190	206	158	132
	10.0	360	446	353	303
		277	364	296	254
	20.0	400	672	807	799
		—	—	—	—
自重による応力(kPa)		-96	-174	-296	-410