

【整番】 FE-19-QA-001	【標題】 構造物の振動計測ポイントについて	
分類：流れ(流体振動)／種別：Q&A	作成年月：H18.1／改訂：Ver0.1 (H20.1)	作成者：N.Miyamoto

H20.1 誤記訂正/補注追加 全4枚

Q： 構造物の振動を計測する場合、加速度/速度/変位のどれを計測するのか？また何故、振動数(周波数)計測を必要とするのか？

A： 以下、回答。

- 試運転などで振動がでると、現場から振動計測結果が出されるが、データとして不満足なことが多い。これは、計測者に振動現象に対する認識というよりも、計測の目的とその活用について認識が薄いためではないかと思うそこで、何を測るかという基本事項について、多少議論してみたい。

[振動がおきたらどういう手順で解決するか設計者自身がわかっていないことに根の問題がある。]

振動計測の目的は、【是正の要否】【現象の把握】である。【是正の要否】は運転続行の可否という当面の問題につながり何を測るかは自ずと決まってくる。【現象の把握】は、原因/メカニズムの究明そして対策/改善につながる。

- ここでは、まず【是正の要否】に必要な計測量(計測アイテム)について考える。是正の要否は振動を評価して得られるので、計測量(加速度/速度/変位)は評価基準(許容基準)あるいは評価手法に見合っていなければならない。

各種設備の評価/許容基準はおおむね次のようになると思う。

- 動的設備(回転機器、内燃機関類など) → 速度/変位
- 集中質量体 → 加速度
- 静的設備(架構/配管/塔槽類) → 変位 (補完的に加速度)

動的設備では旧来の変位基準(*1)のほかに、JISB0906(ISO10816-1)に例示されるような速度基準が採られることが多い。

集中質量体即ち塊として扱えるようなものは、加速度基準によることが多い。本体機能の保持や接続構造物への影響の排除を考慮している。例えば、弁や計器類は然り。

静的設備即ち構造物では、殆ど変位基準になる。ただ加速度も使える。

構造物で変位が計測量(計測対象)になる理由は、それが強度保持を主体にしているからである。構造物では、振動によって生じる変位(ひずみ)に比例する形で応力が発生し、その繰り返しによって高サイクル疲労破壊が起きる。この種の破壊は早いので、振動がでたら急いで変位量を計測して、

- ① 計測変位量を許容基準(あるいは経験/実績)と照合する。
- ② 計測変位量より加振力レベルを推定し、静的計算によって振動応力を求め評価する。あるいは
- ③ 計測変位量より加振力レベルを推定し、応答計算によって振動応力を求め評価する。

①について。例えば配管の場合、図1のようなSWRIの簡易判定図がよく用いられる。この判定図は

横軸が振動数、縦軸が変位の振幅になっているので、変位とその時の振動数のデータが必須になる。

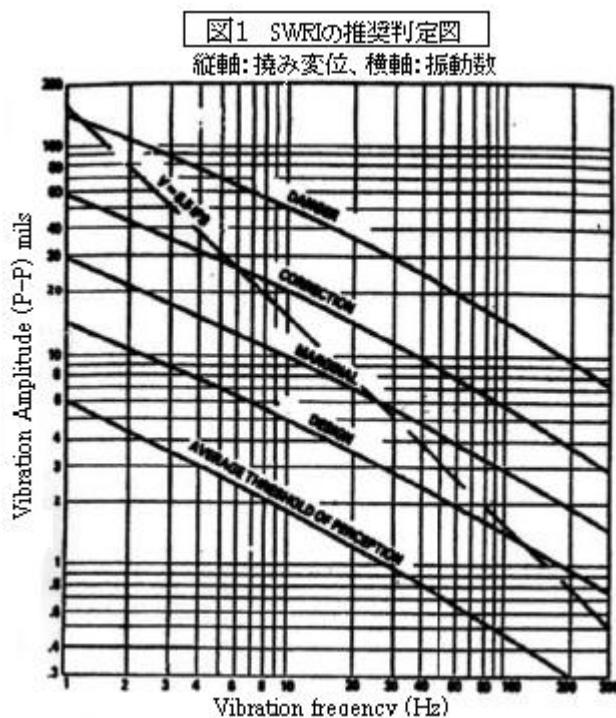
②について。配管以外の塔槽類や架構に許容変位が与えられることは少ない。そこで計測変位量からその構造物に働いている加振力を推定して、構造物に生じている振動応力を評価する。

図2(a)は、塔の上部に接続された配管の中に間歇的な2相流があり塔上部で10数mmの横揺れがでた様子を示すもの。この場合は塔を片持ち梁とみなして変位に見合った横荷重を与えて応力評価した。

図2(b)はL字型の水配管が揺れた時の様子を示す。この場合、最大の計測変位に見合う模擬荷重(地震慣性力)を与えて解析し振動応力を割り出して評価した(なお計測した加速度を使用してもよいと思う)。

③について。①②はいずれも通常の静的計算によっており、比較的簡単な構造に適している。然るに構造物が複雑で大きくなるとこのような静的な模擬荷重では計測変位を再現できない。その場合は計測ポイントを増やして、(変位+加速度)計測から加振点(加振源)および加振力を推定し、これに基づいて動的応答解析を行い、応力を割り出して評価する。図2の(c)は造水プラントの真空装置架構が揺れた時の様子で、内部に置かれた機器を加振源として応答解析を行い、疲労強度を評価してこの振動に対して是正不要としている(効果のあいまいな大掛かりな補強工事は回避された)。

振動数(周波数)計測は、①の場合必要である。②では[計算振動応力 per 疲労限界応力]を比較するので特に必要という訳ではないが、破損予測などで必要。③では周波数/周期ベースの応答解析になるので必要となる。



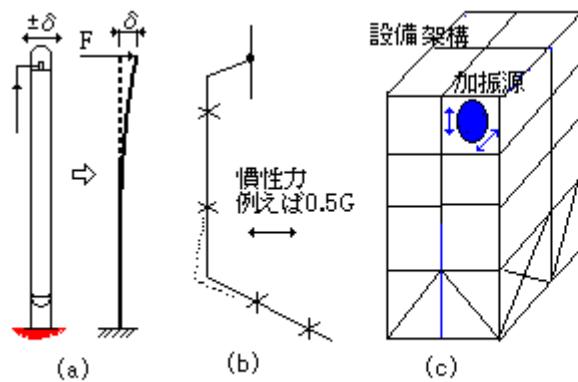


図 2

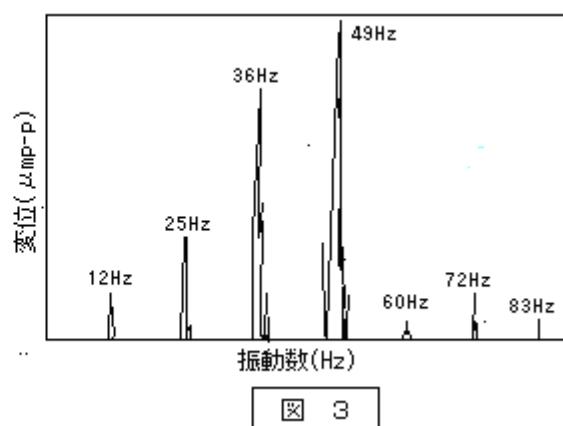


図 3

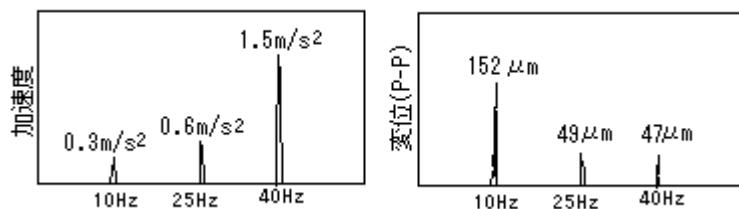
3. 次に【現象の把握】でも、計測量は上記に準じる。変位/振動数を計測することで

【加振源】【加振力】【共振の有無/度合い】【共鳴の有無/度合い】【振動メカニズム】がわかつてくる。この場合、変位は振動数(周波数)と組み合わせて考える。図3は変位のスペクトルデータの例である。幾つかのピークがあるが、例えば、次のような観察が引き出せる。

- 12Hzの整数倍でピークがみられ流体振動が予感
- 2、3、4次でピークがでているが、2、3次は、流体柱の共鳴？
- 4次ピークは1次固有振動数に近く共振か？

これらは、「変位」が設備内部の荷重を比例的に反映するとともに共振/共鳴現象を直接的/間接的に反映することから、引き出せる。特に共振チェックには振動数計測は必須である。

もし「速度」や「加速度」を計測量にしておれば、速度を変位に変換してから考察することになり手数がかかるし誤解も生まれる。例えば下図のように加速度からみれば3次の40Hzが卓越しているが変位に変換すると、やはり1次が大きくなり妥当な揺れ方ということになる。これはごく簡単な例だが実際は複雑なので、何故、最初から変位を測ってくれないのか？ということになる。



なお、振動数については、それ単独でも原因推定が可能なことがある。例えばカルマン渦の振動数は周知のように $f = S_t V / d$ 、流速がわかつておれば、すぐ計算でき、計測値と比較できる。回転数およびその整数倍に起因する振動であればそのまま比較できる。振動数が近い振動事例から原因を推理することもできる。振動が起きたら、とりあえず振動数を測ってみることが肝要である。

4. 結論は、構造物の場合、**変位-振動数**が計測対象である。加速度も測っておくのがベターであるが、変位だけで十分。仮に原因究明の過程で速度や加速度が必要ならば、

$$\text{速度 } v = 2\pi f a, \quad \text{加速度 } \alpha = (2\pi f)^2 a \quad (\text{ここで } f = \text{振動数}, a = \text{片振幅})$$

で推定できる筈である。

補注(*1)：例えば NEMA Std SM 20-1958 に下記の記載あり。

SM20.3.12

全速までの任意の規定運転速度では、軸受サポートに隣接するシャフト位置で測って下記以下。

定格速度(RPM)	全方位の全振幅
RPM \leq 4000	0.0030 インチ (76.2 μ m)
4000<RPM \leq 6000	0.0025 インチ (63.5 μ m)
RPM \geq 6000	0.0020 インチ (50.8 μ m)

規定運転速度範囲以下で定格速度とトリップ速度の中間の速度では全方位全振幅は 0.003 インチ以下であること。シャフトの振動計測ができないときは軸受ハウジング上の両軸受けで、上記の値の 50% を超えないこと。

以上