

I-386

振り切れた1倍強震計記録の修復法に関する予備的検討

前田建設工業(株) 正員 吉田隆治 同正員 嶋田三朗
 京都大学工学部 正員 山田善一 同正員 家村浩和
 京都大学工学部 正員 野田茂

1. はじめに

近年、気象庁1倍強震計をはじめとして低倍率長周期地震計記録の数値化が各所で進められている。しかし、それらのほとんどのものは記録が正常に得られたものであり、記録振幅は1倍強震計の場合で $\pm 3\text{cm}$ 以内のものである。

ところで、著者らは日本海中部地震時の新潟の振り切れた1倍強震計記録(図1)を簡便な方法で修復し、図2に示す速度応答スペクトルを得た¹⁾。図より、周期10秒前後で200kine($h=0.1\%$)もの応答がみられる(このことは、スロッシング観測やSMAC記録とも調和的であった¹⁾)。また、森岡による関東大地震時の東京本郷でのユーイング型強震計記録の修復波形は、周期13秒前後で300kine($h=0\%$)にもものばる速度応答を示している²⁾。このように、振り切れた記録には、長周期構造物の耐震設計上看過することができない強震動が含まれていることがわかる。

本研究は、振り切れた気象庁1倍強震計記録のより合理的な修復法の開発を目的とし、その予備的な検討を行なったものである。

2. 1倍強震計の振り切れ

気象庁1倍強震計(以下水平成分を対象とする)の計器特性は固有周期が約6秒で減衰定数は約0.55である。振子の重量は約6kgでアーム長は約30cmである。振子は計器保護のため、中立位置より約 $\pm 3\text{cm}$ (ボルトにより調節可)のところでストッパーにより振幅が制限されている。振子がストッパーに当たる部分は、ボルトの先端に厚さ1~2mmの牛革が装着されており、これが緩衝材の働きをする。1倍強震計は強震動を受け振幅が $\pm 3\text{cm}$ 以上になると、このストッパーに振子が衝突し、はね返されながら記録を続ける(図1参照)。本研究は、これらの振り切れ記録について、牛革の緩衝材をバネ・ダッシュボット系と考えることにより、衝突がなかった場合の振子応答を求める手法を開発しようとするものである。

3. 衝突モデル

衝突モデルを図3に示す。 k_1, c_1 は質量 m の振子の、また、 k_2, c_2 は緩衝材のバネ定数および減衰係数である。 s は振子の中立位置よりストッパーまでの間隙で約3cmである。

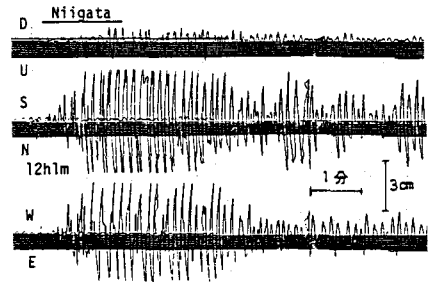


図1 日本海中部地震による新潟での気象庁1倍強震計記録

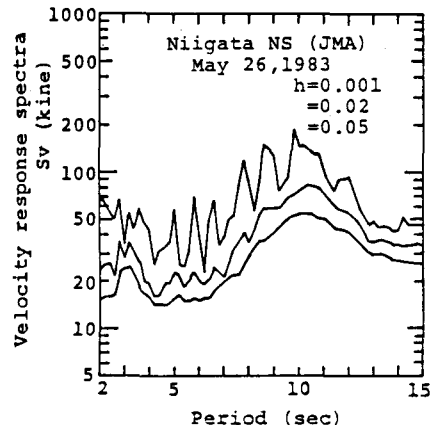


図2 図1のNS成分を簡便な方法で修復した波形の速度応答スペクトル

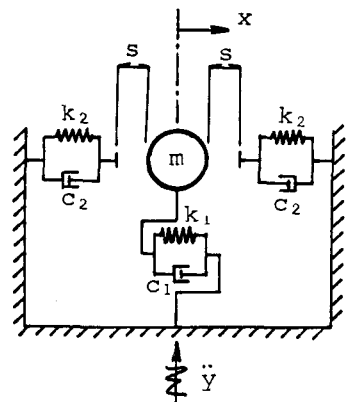


図3 衝突モデル

振子の応答は、次式で表される。

$$\text{状態1: } m(\ddot{x} + \ddot{y}) + c_1 \dot{x} + k_1 x = 0 \quad |x| \leq s$$

$$\text{状態2: } m(\ddot{x} + \ddot{y}) + (c_1 + c_2)\dot{x} + k_1 x + k_2\{x - (x/|x|)s\} = 0 \quad |x| > s$$

4. 衝突記録の修復法

衝突前後の振子の動きを模式的に表わすと、図4のようになる。振子は速度 v_1 でストッパーに衝突し、速度 v_2 でストッパーから離れる。もし、接触時間 ΔT_c の間に外力(地動)が加わらない場合には、

$$v_2 = -e \cdot v_1 \quad , \quad \Delta T_c = \bar{T}/2$$

となる。 e は反跳係数、 $\bar{T}$ は状態2における振動周期である。いま、 ΔT_c が対象としている地震波の周期に対して無視し得るほど小さい場合には、接触時

間での外力は無視できるため、振子はストッパーに当たった瞬間に v_2 の初速度ではね返されたと考えることができる。

これより、 v_1 と e が分かれば、ストッパーに当たった瞬間に $(1+e)v_1$ の初速度を与えられた状態1の振子の自由振動を求め、それを振り切れた記録に重ね合わせることで、ストッパーが無い場合の振子の応答を求めることができる。

5. 数値解析による検討

正弦半波入力に対する本方法による修復波形を理論波形と比較する。入力波は周期9秒、片振幅10cmの正弦半波とし、各種の定数は実測により得られた値を用いる。

図5の(a)は数値積分により解析的に求めた振り切れ波形である。接触時間 ΔT_c は0.0240秒で、 $\bar{T} = 0.0492$ 秒の約1/2となっている。ここで対象としている数秒~10数秒のや、長周期の領域に対しては、極めて短時間の接触時間となっていることが分かる。図5の(b)は衝突した瞬間に初速度 $(v_1 - v_2)$ を与えたときの状態1の自由振動波形である。そして、図5の(c)は(a)と(b)を加え合わせた修復波形であり、理論応答波形を破線で示してある。

本方法によると、目視ではほとんど差が認められない程度に修復できることが分かる。最大振幅は理論波形が4.35cmであるのに対し、修復波形は4.17cm、ゼロクロス時刻は、同じく6.78秒と6.62秒となっており、修復誤差は解析上、4.1%程度で工学的に無視できる大きさと言える。

以上の検討においては、図3の衝突モデルは、①振り切れ現象を説明するため、および②振り切れ波形を解析的に造り出すため、に設定したものであり、実際の振り切れ記録を修復する際には特に必要としない。すなわち、波形の修復には振り切れ直前と直後の速度を記録波形から読み取れば事足りるわけである。今後、ランダム波に対する検討を行ない、更に、実験により本手法の妥当性を検証していく予定である。

1)山田・家村・野田・嶋田；土木学会論文集、第362号、pp.471~480

2)T.Morioka；建築学会論文報告集、No.287、pp.79~91

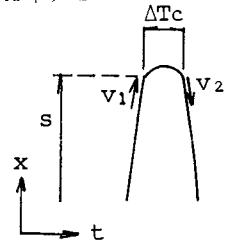


図4 衝突前後の模式図

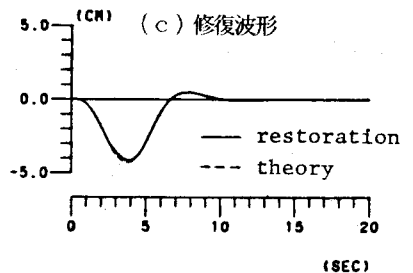
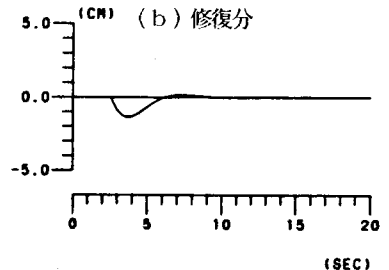
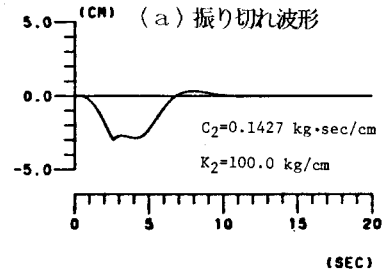


図5 振り切れ波形の修復と理論波形との比較