

(18) 気象庁 1 倍強震計記録による 地動の再現性の検討

東京大学工学部 正員 ○ 篠 泉
東京大学生産技術研究所 正員 片山 恒雄

1. まえがき 長周期構造物の耐震設計において入力地震動を設定する際の基礎資料を得るため、最近、気象庁 1 倍強震計（変位地震計）の記録が数多く数値化されている。しかし、1 倍強震計記録の信頼性に関しては、他種の地震計の記録との比較を行なった研究はいくつかある^{1, 2)}が、十分な検討は行われていない。

気象庁 1 倍強震計記録から地動を得るには、計器特性に関する補正をする必要がある。篠・片山³⁾は、対象周期の工学的有用性を考慮して、土木学会のもの⁴⁾と同一の遮断周期（2、20秒）を持ち通過帯域の両側で振動数に対してCosine型で振幅が低減する Band-Pass特性を付加した計器補正フィルターを用いて 210成分余りの 1 倍強震計記録に計器補正を施し、気象庁 1 倍強震計・数値化記録のデータベースを構築した。図 1 は篠・片山が用いた計器補正フィルターの振幅特性を示したものであるが、当フィルターは長い周期でかなり大きな補正効果を持つことがわかる。そこで、本研究では、気象庁 1 倍強震計の振動台実験を行うことにより、図 1 に示したフィルターによる計器補正の妥当性を検討し、1 倍強震計記録の信頼性を実験的に検証しようと試みた。また、同地点に並んで設置された 1 倍強震計及び加速度強震計の実地震による記録を比較し両者の整合性を調べた。

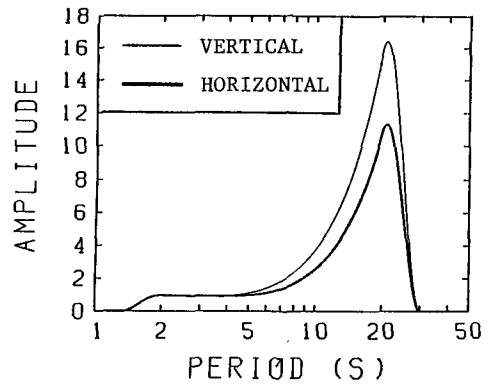


図 1. 計器補正フィルターの振幅特性³⁾

2. 変位入力による振動台実験 東京大学生産技術研究所千葉実験所構内に設置され、昭和59年9月より観測を開始した気象庁 1 倍強震計を用いて 2 次元振動台実験を行った。入力は、表 1 に示す 2 地震によって 4 地点で得られた気象庁 1 倍強震計記録 8 成分を振幅及び時間軸に手を加えて作成した 15 成分であり、それぞれ図 1 に示したフィルターで計器補正を施した変位波形である。

寿都、森、旭川の順に短周期成分がより多く含まれる記録である。横浜は 10 秒程度の成分がやや卓越するが、周期 2～20 秒で比較的フラットなスペクトル特性を持つ記録である。

振動台の変位を台に備え付けられた十分な精度を有する変位計で測定し周期 2～20 秒以外の周期成分を除去したものを 1 倍強震計に対する変位の入力と考える。また、台上の 1 倍強震計の記録を図 1 に示すフィルターで計器補正して得たものを 1 倍強震計の変位入力記録と呼ぶ。なお、以後、検討対象とする入力は 1 倍強震計に対する入力である。入力に対する変位入力記録の最大振幅値の比を取りその相乗平均を求めてみると、上下動の変位、速度、加速度でそれぞれ 0.81, 0.90, 0.94 であり、水平動の変位、速度、加速度でそれぞれ 0.97, 1.03, 1.01 であった。水平動の場合は、変位、速度、加速度のいずれも入力と変位入力記録がよく対応している。

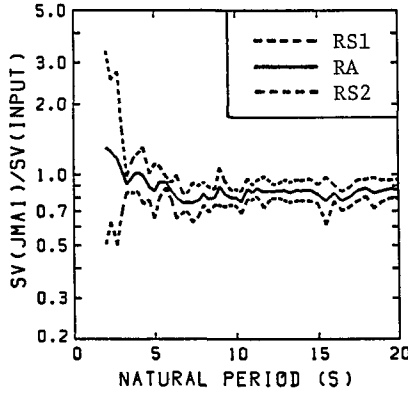
入力及び変位入力記録より非減衰速度応答スペクトルを求め、

表 1. 変位入力とその最大振幅

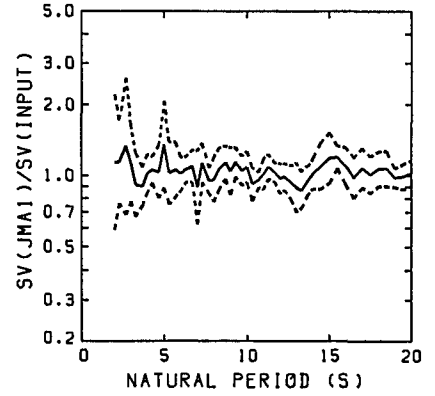
地震	地点	入力データ	成分	最大変位 (cm)
1983 日本海中部地震	横浜	NIY01	UD	1.04
			NS	0.85
		NIY02	UD	2.09
			NS	1.74
		NIY03	NS	4.47
	UD		3.86	
	寿都	NIY04	NS	7.17
			UD	3.87
NIY05*		NS	4.49	
'68 十勝沖	森	TAM01	UD	1.55
			EW	1.79
	旭川	TAAS1	UD	1.59
			EW	1.72

* 時間軸を 2 倍に延ばした。

両者の周期ごとの対応を調べた。表1に示した各々の入力データについて周期Tごとに、入力の応答スペクトル値SV(INPUT)に対する変位入力記録の応答スペクトル値SV(JMA1)の比R(T)を求め、以下のように定義されるR(T)の平均値RA(T)を計算し周期に対して示したのが図2である。



(a) 上下動



(b) 水平動

図2. 入力に対する1倍強震計の変位入力記録の応答スペクトル比

$$RA(T) = 10^C$$

.....(1) ここにCは $\log_{10}R(T)$ の平均値である。

図2には、標準偏差分に対応する平均まわりのデータのばらつきRS1(T),RS2(T)も示してある。これらは、

$$RS1(T) = 10^{(C+SD)} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$RS2(T) = 10^{(C-SD)} \quad \dots\dots\dots(3)$$

により定義した。ここにSDは $\log_{10}R(T)$ の標準偏差である。水平動の場合は、周期2~20秒においてRAが0.87~1.36の間にあり、周期による系統的变化も認められないことから、この周期範囲内の振動については1倍強震計が良く捕らえていることがわかる。上下動の場合は、周期5~20秒程度においてRAが0.76~0.93となり、変位入力記録が入力を下回る傾向を示す。この傾向は最大振幅値に関しても認め

られたものである。実験時に常時、測定対象以下の短周期の上下動が振動台に認められたため1倍強震計の上下動記録のペン圧を大きくしたことなどに起因しているのではないかとと思われる。

横浜の水平記録の最大振幅を4段階に変えて入力した場合の入力に対する変位入力記録の応答スペクトル比R(T)を周期

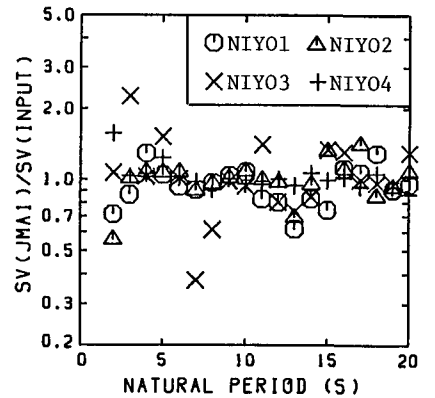


図3. 水平動の応答スペクトル比 (NIY01~4)

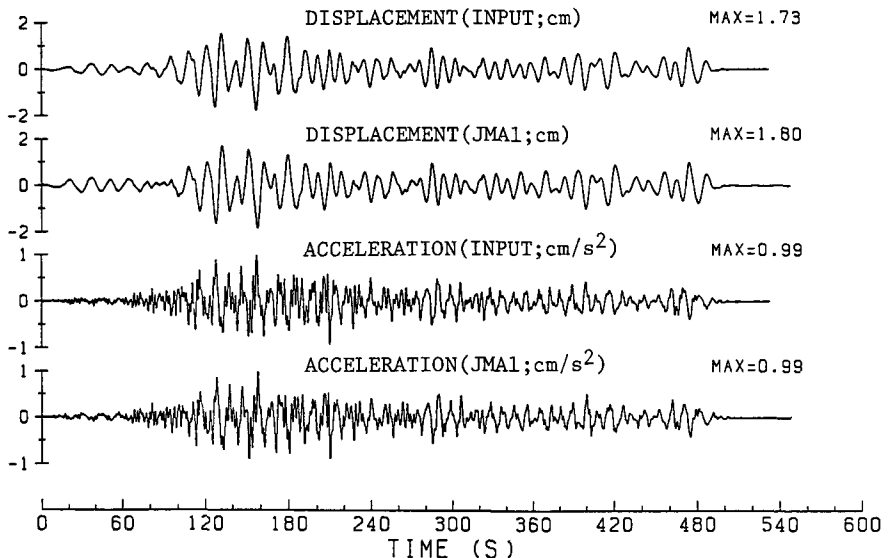


図4. 入力と1倍強震計の変位入力記録の波形 (NIY02の水平成分)

に対して示したのが、図3である。入力振幅が大きいほど長い周期での入力と変位入力記録との対応が良い傾向が見られる。数値化の際のSN比が上がるためと思われる。

図4は、NIV02 を入力した場合の水平動の変位及び加速度に関して入力と変位入力記録の波形とを並べて示したものである。変位波形だけでなく加速度波形も良く一致している。

3. 加速度入力による振動台実験 図2より周期3秒以下の短周期では、応答スペクトル比 $R(T)$ のばらつきが大きくなる傾向が認められる。このような短周期における1倍強震計記録の信頼性を検討するために、SMAC-B2型強震計記録を入力とした1倍強震計の振動台実験を行った。入力としては、1968年十勝沖地震の際に表2に示した3地点で得られたSMAC-B2型強震計記録を周期0.1~6.67秒の通過帯域を有するBand-Pass特性を付加したフィルターで計器補正し振幅調整して用いた。振動台の加速度は台上に加速度強震計を設置して測定した。用いた加速度強震計は、千葉実験所構内で実施中の超高密度地震観測に使用されている埋設地震計⁵⁾と同機種のもので対象周期範囲における記録精度に問題はない。台上の1倍強震計の記録を周期0.5~6.67秒の帯域制限も行う計器補正フィルターで処理したものを1倍強震計の加速度入力記録と呼ぶ。また、台上の加速度強震計の記録を同じ通過帯域を持つBand-Passフィルターで処理したものを1倍強震計に対する加速度の入力と考える。

図5は、図2と同様に入力に対する加速度入力記録の非減衰速度応答スペクトルの比の平均及びばらつきを示したものである。上下動、水平動ともに平均スペクトル比は、周期0.5~6.6秒の範囲でほぼ1であり、このことは1倍強震計記録からもこの周期範囲の地震動が把握しうることを示唆している。しかし、スペクトル比のばらつきは周期2秒程度以下で大きくなる傾向を示す。

4. 加速度強震記録との比較 昭和59年9月19日の房総沖を震源とする $M = 6.6$ の地震により記録紙上の最大振幅が1cm弱の比較的良好な1倍強震計記録が千葉実験所で得られた。この1倍強震計と並べて加速度強震計が設置されており、両地震計のまったく同一地点における記録を得ることができた。なお、この加速度強震計は3.で振動台の加速度を測定するために用いたものと同機種の地震計である。

図6は、1倍強震計記録から求めた非減衰速度応答スペクトル $SV(JMA1)$ に対する加速度強震記録から求めたスペクトル $SV(ACC)$ の比を周期に対して示したものである。1倍強震計記録の場合は図1に示したフィルターで計器補正した記録より、

加速度強震記録の場合は未補正記録より、応答スペクトルを求めた。スペクトル比はかなり変動するが、水平動に関しては両記録は周期2~13秒でほぼ対応していると思わせる。

3成分中もっとも大きな水平成分(H1)に関して、1倍強震計記録・計器補正加

表2. 加速度入力とその最大振幅

地点	種類	成分	最大加速度 (cm/s ²)
青森	1	UD	10.5
		NS	47.9
八戸	2	UD	49.7
		NS	78.5
室蘭	1	UD	51.7
		EW	65.3
	2	UD	66.7
		EW	94.5
室蘭	1	UD	87.2
		EW	118.9
室蘭	2	UD	86.3
		EW	160.9

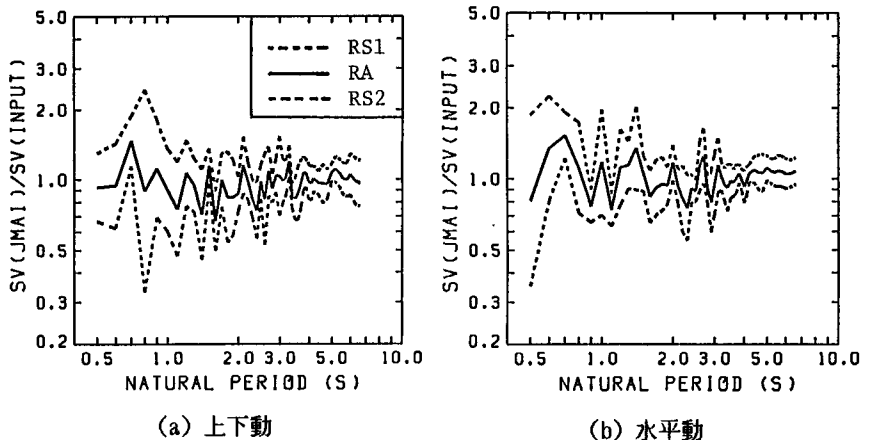


図5. 入力に対する1倍強震計の加速度入力記録の応答スペクトル比

速度(図1のフィルターで補正後微分して求めた)、その2~13秒の帯域制限をした加速度、変位及び加速度強震記録・未補正加速度、その2~13秒の帯域制限をした加速度、変位の時刻歴を図7に示す。帯域制限を施した後の波形は、加速度、変位ともに良く一致している。また、帯域制限前の1倍強震計記録(加速度)と加速度強震記録の波形はまったく異なり、両地震計の記録する地動の相違がよくわかる。

5. あとがき 気象庁1倍強震計記録を計器補正する際に篠・片山³⁾が用いたフィルターの妥当性を検討するために、2次元振動台による1倍強震計の加振実験を行った。その結果、周期2~20秒の水平地動は1倍強震計記録より当フィルターを使用して把握できることが明らかとなった。記録より推定された上下動は周期5~20秒程度で実際より系統的に小さくなるが、この傾向が1倍強震計記録全体に当てはまるか否かは今後十分な検討が必要である。また、同地点に並んで

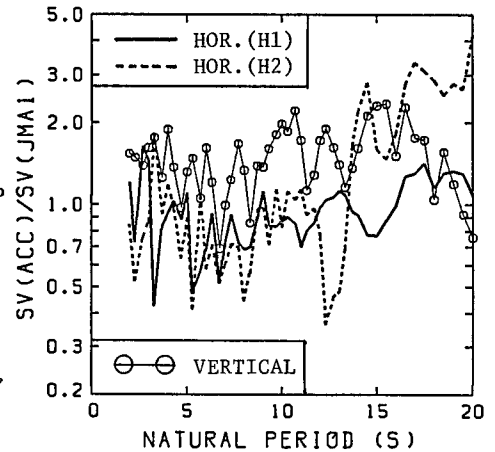


図6. 1倍強震計記録に対する加速度強震記録の応答スペクトル比

設置された1倍強震計及び加速度強震計の実際の地震による記録を比較したところ周期2~13秒程度で両者は変位・加速度波形を合せてほぼ整合していることが認められた。

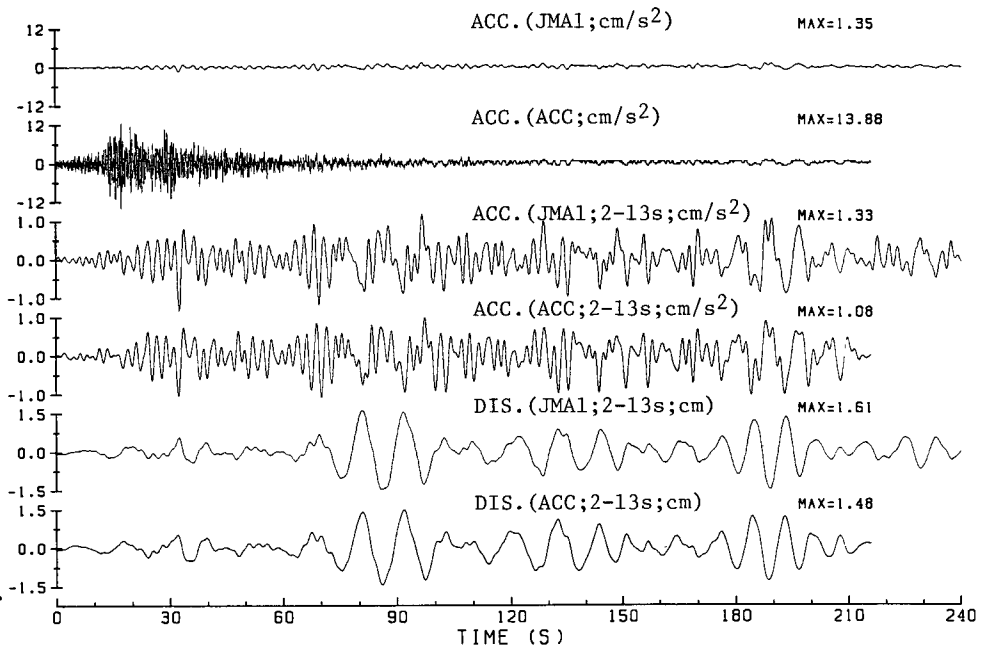


図7. 1倍強震計記録と加速度強震記録の比較(水平動のうちのH1成分)

置された2次元振動台を使用した。東京大学生産技術研究所の佐藤暢彦、大保直人両氏には実験に当って大変お世話になった。ここに記して深甚なる謝意を表す。

[参考文献] 1) 土木学会：本州四国連絡橋の耐震、地盤に関する調査研究報告書、昭和59年3月。
 2) 山田善一・野田茂・富本信：やや長周期帯域における地震記録の信頼度について、地震学会春季大会、B20、昭和60年4月。 3) 篠泉・片山恒雄：気象庁1倍強震計記録の数値化データ、土木学会第40回年次学術講演会、昭和60年9月。 4) 土木学会：屋外貯蔵タンクの耐震安全性検討のための入力地震波の変位特性に関する調査報告書、昭和57年12月。 5) 佐藤暢彦・片山恒雄：超高密度地震観測について、土木学会第37回年次学術講演会、I-300、昭和57年10月。