

セメント系の地盤改良に伴う制震効果 (その1)

—水平地震動に対する制震効果—

竹 脇 尚 信

清 水 勝 美

(土木設計部)

渡 辺 浩 平

(原子力部)

渡 辺 弘 之

§ 1. はじめに

地盤改良は、通常、地盤の強度や支持力の増加、圧密の早期完了、液状化あるいは不同沈下の防止などの目的で行なわれる。しかし、改良地盤上に構造物が建てられる場合、その構造物にとっては、地盤改良の結果として制震効果、つまり構造物に作用する地震力を改良地盤が抑制する効果が、以下に述べる理由から期待できると思われる。

1) 地盤改良を行なえば、一般に改良部の剛性は高められる。その結果、1968年の十勝沖地震の余震記録から山原が指摘した入力損失の現象¹⁾、すなわち剛性が高くある程度の広がりをもった建物の基礎版上で観測された地震波は、建物の周辺地盤で観測された地震波にくらべて短周期成分が少なく、かつ最大加速度も著しく小さくなるという現象が改良地盤とその周辺の未改良地盤の間にも発生すると予想される。したがって、改良地盤は地震波の短周期成分のカットおよび地震加速度の低減という制震効果をもたらすものと思われる。

2) たとえば、地下タンクの地震観測の結果²⁾を見ると、剛性の高いタンク本体での地震加速度の増幅は、周辺地盤での増幅に比べてその値は小さい。これと同様に深くまで改良された場合には、改良部での増幅は未改良部のそれに比較して小さくなると予想される。したがって、改良地盤上の構造物にとって、改良地盤は地中での地震加速度の増幅を抑制するという制震効果をもたらすものと思われる。

しかしながら、このような地盤改良に伴う制震効果に関する研究は今までほとんど行なわれていなかった。そこで筆者らは、(財)電力中央研究所土木技術研究所と共同で、実験のための地盤改良を行ない、改良地盤と未改良地盤に関する物性試験³⁾⁴⁾、起振実験^{5)~7)}および地震観測^{7)~10)}を実施して、地盤改良によって期待される耐震効果ならびに制震効果を検討することにした。

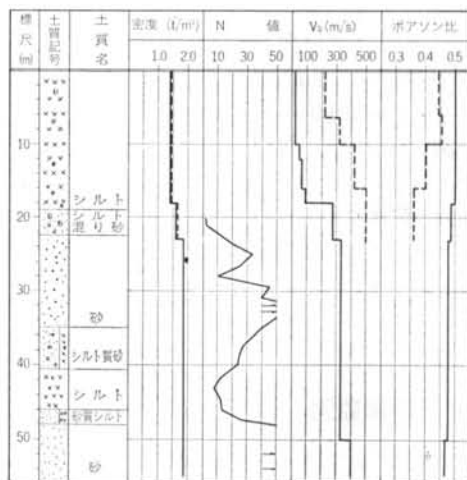
この小論は、その研究の一部である地震観測を通じて

得られたデータにもとづき、地震時の水平動に対して改良地盤が、どのような制震効果をもたらすかを定性的ならびに定量的に研究すると同時に、制震効果のシミュレーションも行なったものである。

§ 2. 地盤の概要

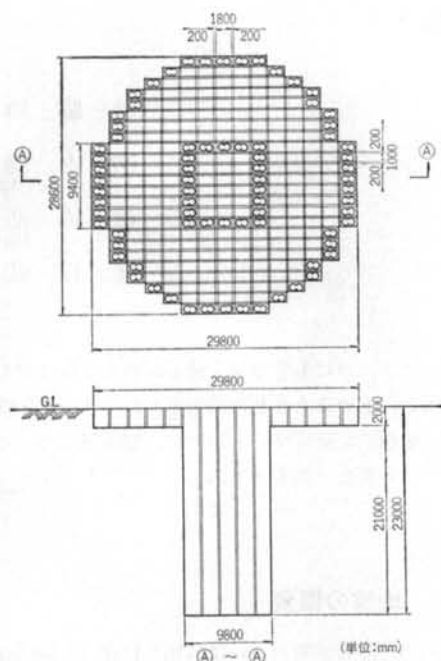
今回の一連の実験あるいは観測を行なった場所は千葉県我孫子市で、国鉄成田線 布佐駅の西南約1 kmの地点である。この付近は手賀沼の開拓地である関係で、図-1に示すよう地表面下約20 m まではN値は0で、せん断波速度 (V_s) は20~100 m/sec であり、シルト質の非常に軟弱な地盤である。

DeMIC-L 工法と称するセメント系の深層混合処理工法により、この地盤にA基礎およびB基礎と呼ぶ2種類の改良をほどこした。ここにA基礎とは、図-2に示すように GL±0~GL-2 m 間を直径約30 m の円板状に、GL-2~GL-23 m 間を9.4×9.8 m の柱状に改良した



注) 矢印は改良部、点線は改良部の底

図-1 土質柱状図



図一 2 改良部形状

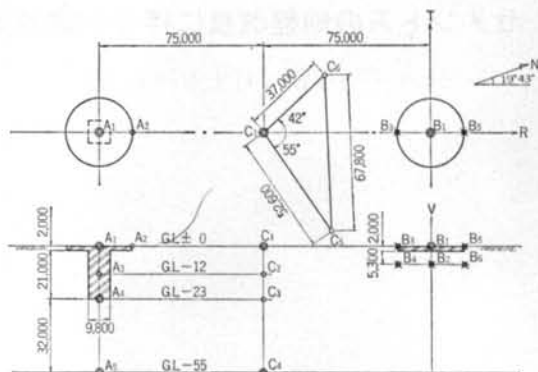
ものである。一方、B基礎はGL±0~GL-2m間のみをA基礎と同様に直径約30mの円板状に改良したものである。A基礎とB基礎は、図一3をみれば分かるように、基礎中心間距離で150m離れている。

DeMIC-L工法は、回転する2枚のかくはん翼をセメント系の硬化材を吐出させながら貫入、あるいは引き上げて、硬化材と在来土を十分に混合させることにより、化学反応を起させて地盤を固化する工法である。したがって、施工機械の関係で、改良部は図一2に示すようにめがね状になる。今回の実験では、改良部の面積比率を64%、セメント添加率（重量比）を10%、水・セメント比を110%、貫入・引上速度を1m/minとした³⁾⁴⁾。

A基礎と未改良部の弾性波探査（PS速度検層）の結果を図一1に示す。実線が未改良部の値で、破線がA基礎のものである。この図をながめると、改良部と未改良部では単位体積重量は変わらないが、ポアソン比は前者の方が0.06~0.13程度小さく、また V_s は5倍から10倍程度改良部の方が速くなっていることが分かる。

§ 3. 地震観測

地震観測は第1期と第2期に分けて行なった。第1期観測ではA基礎と未改良地盤に観測の重点を置いたが、平面的には直径30mの円形の広がりを有するものの、



図一 3 地震計配置図

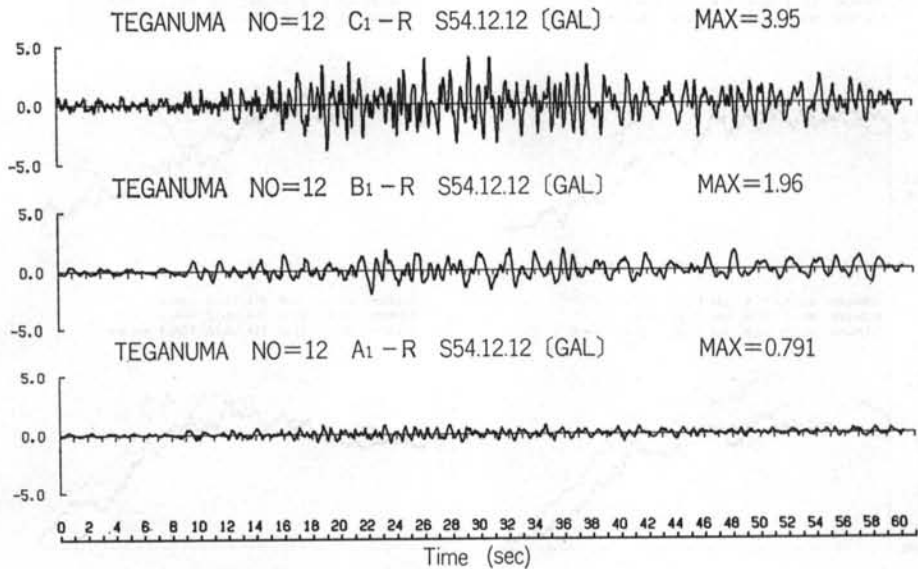
改良厚はわずか2mしかないB基礎が予想以上の制震効果を発揮することが分かった。そこで地震計の配置を変えて、第2期観測としてB基礎に観測の重点を移すことにしたわけである。

地震は、すべて加速度を観測することにした。加速度計の配置を図一3に示すが、◎印の測点は第1期と第2期に共通の観測点、○印の測点は第1期のみのも、×印は第2期のみのものである。これらの測点のうち、A1, A2, B1, C1, C4, C5 および C6 は R, T および V 方向の3成分を観測する測点で、A2 は V 方向のみの1成分、その他の測点はすべて R と T 方向の2成分である。ただし、R 方向などの向きは、図一3に示すとおりである。

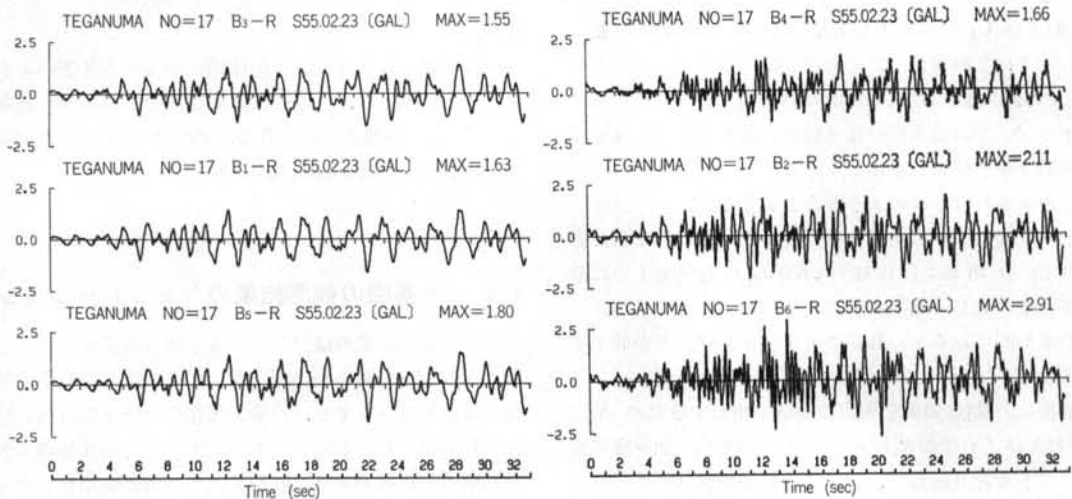
第1期の観測期間は昭和54年の11月と12月の2カ月間で、この間に15個の地震が観測された⁸⁾¹⁰⁾。また、第2期観測は昭和55年1月~2月に行ない、4個の地震記録を得ることができた。これら19個の地震記録のうち、今回は第1期観測分に関してはNo.4, No.6, No.10 および No.12 の4個を、また第2期観測分についてはNo.16~No.19の同じく4個を解析に利用できるように整理した。これらの地震諸元は参考文献10)にまとめられているのでここでは省略するが、マグニチュードは3.5~6.8、未改良部の地表面での最大加速度は0.5~21galで、すべて振幅の小さな地震である。

§ 4. 観測結果にもとづく制震効果の検討

地盤改良によって得られる制震効果を、まず定性的に検討するため、第1期観測結果からはNo.12地震を選び、未改良部地表面(C1)、B基礎上(B1)、およびA基礎上(A1)のR方面の加速度波形をこの順に並べてみた。それが図一4である。また、第2期観測結果につい



図—4 未改良部，B基礎，A基礎での波形の比較



図—5 B基礎上とB基礎直下での波形の比較

ては No.17 地震に着目し，B基礎上の B_1 ， B_3 および B_5 の3測点での記録と，B基礎直下の3測点， B_2 ， B_4 および B_6 の記録を各々比較した．結果を図—5に示すが，これもR方向の成分である．

これらの図をみると次のようなことが分かる．

1)改良地盤は地震波の短周期成分をカットして，ローパスフィルター (low-pass filter) の役割を果たす．

2)改良地盤上では加速度が大きく低下する．

3)B基礎直下の未改良部3カ所での地震波は，位相は異なり最大加速度もばらついているが，B基礎上ではこれらはほぼ合っている．つまり，改良地盤はその直下の

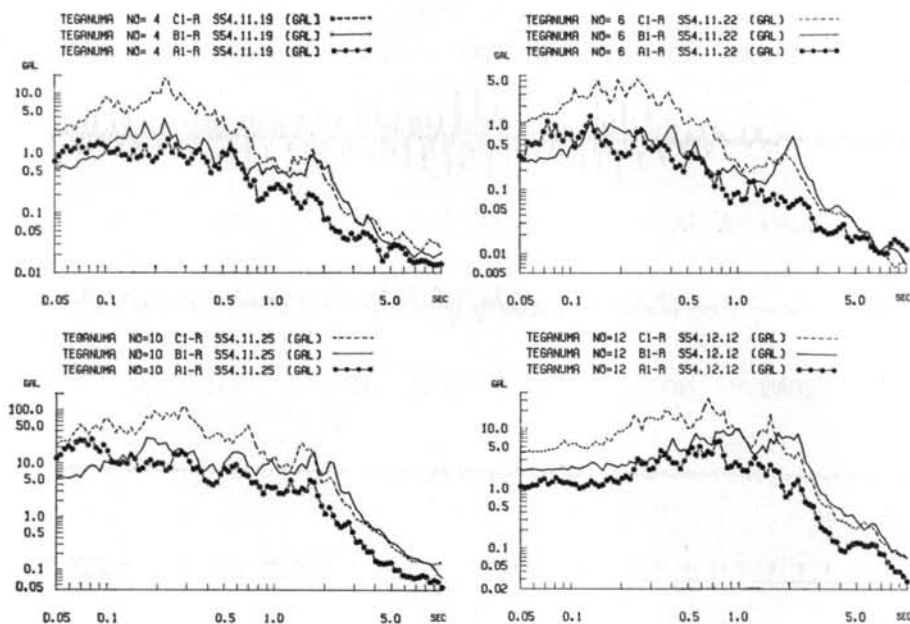
表—1 最大加速度の比較

		(単位 gal)							
		地 1 1	地 1 2	地 1 3	地 1 4	地 2 1	地 2 2	地 2 3	地 2 4
方	A ₁	0.312	0.150	3.776	0.791	0.271	0.703	0.261	0.257
	B ₁	0.435	0.272	4.394	1.942	0.160	1.829	0.378	0.128
	C ₁	2.049	0.966	2.1059	3.951	0.571	3.288	1.187	0.581
	A ₁ /C ₁	0.152	0.155	0.179	0.200	0.475	0.214	0.220	0.442
方	B ₁ /C ₁	0.212	0.282	0.209	0.497	0.280	0.495	0.318	0.220
	A ₁ /B ₁	0.717	0.551	0.859	0.403	1.694	0.432	0.690	2.008
	A ₁	0.414	0.223	4.709	1.150	0.151	0.862	0.252	0.212
	B ₁	0.469	0.185	4.950	2.337	0.206	1.953	0.443	0.128
方	C ₁	1.337	0.733	1.5269	5.660	0.922	2.153	2.033	0.749
	A ₁ /C ₁	0.310	0.295	0.306	0.203	0.164	0.276	0.244	0.286
	B ₁ /C ₁	0.351	0.246	0.321	0.378	0.251	0.625	0.429	0.186
	A ₁ /B ₁	0.883	1.200	0.955	0.538	0.733	0.441	0.509	1.536

表—1 最大加速度の比較

未改良部のランダムな動きを拘束する傾向がある．

次に，制震効果の定量的な検討を行なうために， A_1 ，



図一六 C₁-R, B₁-RおよびA₁-Rの加速度応答スペクトル
B₁ および C₁ での最大加速度を比較した。結果を表一
1に示す。この表は、たとえば A₁ の行は各地震ごとの
A₁ での最大加速度を、また A₁/C₁ は C₁ での最大値に
対する A₁ での最大値の比（以後、最大加速度のA基礎
での低下率と呼ぶ）を示している。

この表からは、次のようなことが分かる。

1) A基礎およびB基礎上での最大加速度の低下率は各
各0.15~0.48および0.19~0.63で、改良地盤上では最大
加速度の著しい低下が期待できる。

2) 平均的にみると、B基礎よりもA基礎の方が低下率
は大きい。

最後に、制震効果を周波数領域で検討するため A₁,
B₁ および C₁ でのR方向の記録を用いて、加速度応答
スペクトルを計算した。計算は8個の地震全部について
行なったが、第1期と第2期では同様の傾向を示したの
で、結果は第1期のものだけを図一六に示すことにし
た。なお、加速度応答スペクトルの計算においては、減
衰定数は2%とした。また、図中の実線、破線および
・—・印はそれぞれ B₁, C₁ および A₁ に対応してい
る。

加速度応答スペクトルからは、以下のようなことが分
かる。

1) A基礎は、0.05秒から5秒以上の長周期側まで広
い範囲にわたって制震効果を発揮する。

2) B基礎の制震効果は1秒付近を境にして短周期側で
は大きい、それ以上の長周期側ではほとんど期待でき
ない。

ない。

3) A基礎とB基礎では、全体的にみるとA基礎の方が
制震効果は大きい。しかし、短周期成分の卓越する地震
(No. 12以外の地震) の場合は、約0.1秒以下の短周期
側ではB基礎の方が制震効果は勝っている。

§ 5. A基礎の観測結果のシミュレーション

前節の観測結果の検討から、A基礎の特徴は、次の3
点であることが明らかになった。1) A基礎は地震波の短
周期成分をカットする。2) 最大加速度の低下率は浅い改
良のB基礎よりも平均的にみると大きい。3) A基礎は短
周期領域、長周期領域を問わず、広い周波数領域で制震
効果を発揮するが、短周期成分の卓越する地震の場合、
0.1秒以下の短周期領域ではB基礎よりも制震効果は小
さい。

このような特徴は、次のように考えれば説明できよ
う。1) A基礎は、周辺の未改良地盤にくらべて剛性が高
いため、周辺地盤の動きを拘束することにより短周期成
分のカットをもたらした。2) GL±0~GL-18 m間の改
良部の V_s は、未改良部に比較して6~10倍程度速く
なっている。そのため、地下タンクの場合と同様な増幅
抑制効果が改良部に現われて、最大加速度が著しく低下
した。3) 0.1秒以下の短周期側でA基礎の制震効果がB
基礎よりも小さくなったのは、A基礎周辺の GL-10 m

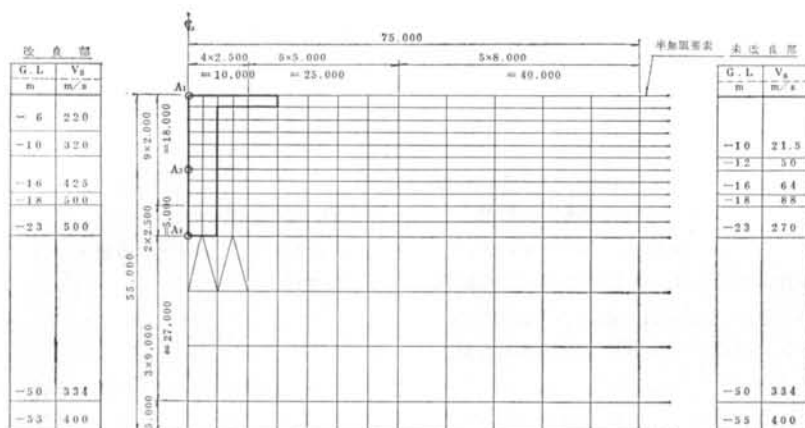


図-7 メッシュ図

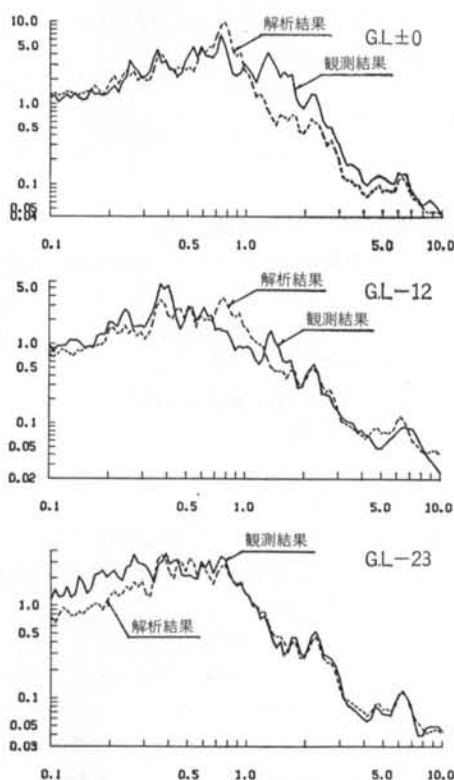


図-8 A基礎のシミュレーション(加速度応答スペクトル):
No. 4, A_5 -R 入力

以浅の未改良地盤が極端に軟弱なため、0.1秒以下の短周期成分がA基礎で増幅されたためである。

このように、観測結果の特徴ならびにそのような特徴が現われた原因を考えると、A基礎の観測結果のシミュレーションは入力地震波の位相差が考慮でき、かつ深さ方向の増幅も計算できる解析手法が望ましい。しかしな

がら、今回の観測結果からは入力すべき位相差まで決定できなかったため、基礎面に同時刻同位相の地震波が作用すると仮定した2次の有限要素法でA基礎のシミュレーションは行なうことにした。

応答解析用基礎面はGL-55mと仮定して(図-3参照)A基礎とその周辺地盤を図-7に示すような平面ひずみ要素でモデル化した。解析領域は対称条件を用いて右側半分とし、対称軸から水平方向へ75m離れた地点($C_1 \sim C_4$ の地震計の設置点)は、A基礎の振動の影響を受けないと考えて半無限要素¹²⁾で分割した。

応答解析はモード合成法で行ない、No. 4地震の A_5 でのR方向記録を入力した。そして図-3に示した A_1 、 A_3 および A_4 に相当する節点での応答を求め、観測結果との比較は加速度応答スペクトルで行なった。ただし、モード合成法での重ね合わせ次数は30次(30次の固有振動数は約12Hz)までとして、減衰定数は観測結果の伝達関数を参考にして決定した。また、加速度応答スペクトルの計算では、減衰定数は2%とした。結果を図-8に示す。これらの図では実線が観測結果を、破線が解析結果を表わしている。

観測結果と解析結果は約0.17秒以下の短周期側では合わないが、それより長周期側では、 A_1 の0.6秒付近で卓越周期に若干のずれがみられるものの、全体的にはよい対応を示している。0.17秒以下の短周期側で解析結果が急に小さくなったのは、解析モデルの上下方向のメッシュ間隔が粗すぎたためと思われる。したがって、この点に注意すれば、A基礎の観測結果は有限要素モデルによる動的解析で比較的良好にシミュレートでき、制震効果の予測は可能と思われる。

§ 6. B基礎の観測結果のシミュレーション

B基礎の場合は、改良深さはわずか2 mであるので、改良部での深さ方向の増幅抑制効果は期待できそうもない。それにもかかわらず、B基礎は§4.でみたように地震波の短周期成分のカットおよび最大加速度の低減という制震効果を発揮する。この現象は、剛性の高い改良部がその直下の未改良部のランダムな動きを拘束した結果と考えれば説明がつき、これは入力損失の考え方¹⁾に一致する。そこで、B基礎のシミュレーションは入力損失の理論にもとづいて行なうことにした。

入力損失理論の詳細な説明は、参考文献1)に述べられているのでここでは省略するが、その考え方を簡単に述べると、改良部がその直下の未改良部のランダムな動きを拘束する作用を1つの数値フィルターで表現し、未改良部で観測された地震波にそのフィルターをかけて改良地盤上での地震波を求めようというものである。そこでまず数値フィルターについて説明し、そのあとでシミュレーションの結果を述べることにする。

山原は、図-9に示すような奥行き幅が単位である剛な長方形基礎について、上記の数値フィルターを次式から計算している¹⁾。

$$\bar{u} = \frac{1}{l} \int_{-l/2}^{l/2} u dx \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 $\bar{u}$ は基礎上での水平方向変位振幅、 u は基礎への入射波の水平方向変位、 l は基礎幅である。

しかし、改良地盤の場合、改良率やセメント添加率などの関係から、基礎が剛体という仮定が成立しない場合も起り得る。そこで、改良部に対する未改良部の波動インピーダンス比を α (図-9を参照すると、 $\alpha = \rho_0 V_0 / \rho V$) として、式(1)の l を次式で定義される l_0 でおきかえることにした。

$$l_0 = (1-\alpha)l \quad \dots\dots(2)$$

これは、改良部が必ずしも剛体とみなせない場合はその影響を改良幅に換算して評価しようという考えである。

入射波の最大振幅、波数および円振動数を、それぞれ u_0 、 β および ω として、式(1)の u を、

$$u = u_0 \cos(\beta x - \omega t) \quad \dots\dots(3)$$

とおく。そして、式(2)と共に式(1)に代入して $t=0$ とおけば次式を得る。

$$\bar{u} = \frac{2u_0}{(1-\alpha)l\beta} \sin\left\{\frac{(1-\alpha)l\beta}{2}\right\} \quad \dots\dots(4)$$

ここで、入射波の波長を L として、

$$\eta = \bar{u}/u_0 \quad \dots\dots(5)$$

$$\xi = L/l \quad \dots\dots(6)$$

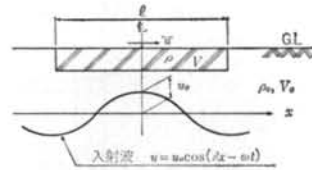


図-9 解析モデル図

とおき、 $\beta = 2\pi/L$ の関係を考慮すれば、式(4)は次のように変形される。

$$\eta = \frac{\xi}{(1-\alpha)\pi} \sin\frac{(1-\alpha)\pi}{\xi} \quad \dots\dots(7)$$

この式が、基礎が必ずしも剛体とみなせない場合の長方形基礎に関する数値フィルターの提案式で、 $\alpha=0$ のときは山原の式に一致し、 $\alpha=1$ のときは $\bar{u}=u_0$ となる。

B基礎は円形である。そこで、これに関する数値フィルターは、式(1)および式(3)を次式のように変更して誘導することにした。

$$\bar{u} = \frac{1}{A_0} \int_{A_0} u dA \quad \dots\dots(8)$$

$$A_0 = \pi r_0^2 \quad \dots\dots(9)$$

$$r_0 = (1-\alpha)r \quad \dots\dots(10)$$

$$u = u_0 \cos(\beta x - \omega t) \cos(\beta y - \omega t) \quad \dots\dots(11)$$

ただし、 r はB基礎の半径である。途中の計算は省略し式(7)に対応する結果だけを示せば、次のようになる。

$$\eta = \frac{\sqrt{2}}{(1-\alpha)\pi} \xi J_1\left(\frac{\sqrt{2}(1-\alpha)\pi}{\xi}\right) \quad \dots\dots(12)$$

ここに、 J_1 は1次の第1種ベッセル関数である。なお、式(12)の ξ は式(6)に対応し、

$$\xi = \frac{L}{2r} = \frac{c}{D} \cdot \frac{1}{f} = \frac{1}{\tau} \cdot \frac{1}{f} \quad \dots\dots(13)$$

となる。ただし、 c と f はそれぞれ入射波のみかけの速度¹⁾と振動数、 D はB基礎の直径、 τ は山原の定義によるフィルター定数である。

式(12)は、振動数の関数 f になっている。そこで、シミュレーションは次のような手順で行なった。まずはじめに、未改良部での観測波、たとえば C_1 での地震波を高速フーリエ変換 (FFT) で振動数ごとの成分波に分解する。次に、各成分波の振動数に対応して式(12)から η を求め、各々の成分波の振幅にこの η をかける。その後でFFT で逆変換し、加速度応答スペクトルを計算して B_1 での地震波による加速度応答スペクトルと比較する。

シミュレーションは、まず第1期観測の結果について行なった。すなわち、No. 4, No. 6, No. 10 および No. 12 地震の測点 C_1 での R 方向に式(12)のフィルターをかけ、 B_1 での観測結果と比較した。このとき、 $D=30$ m、 $c=85$ m/sec、 $\alpha=0.1$ とした。その結果、短周期成分の

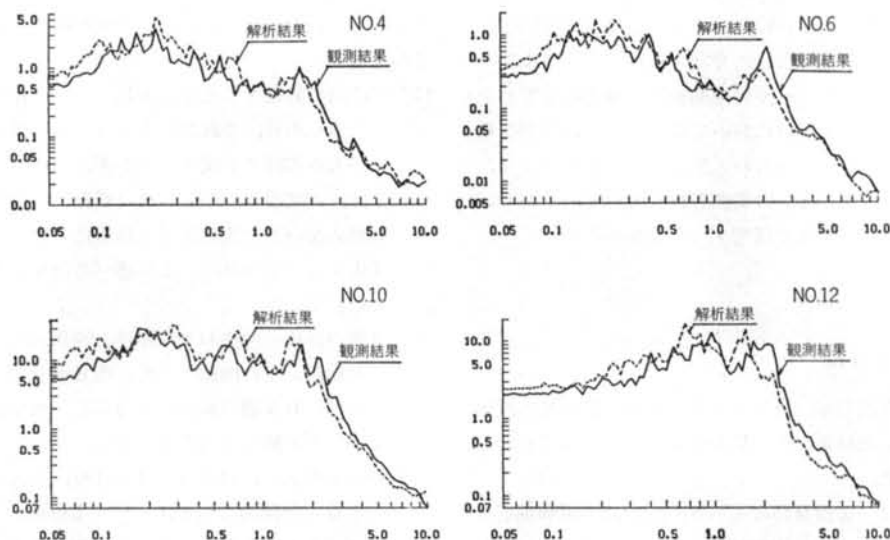


図-10 B基礎のシミュレーション；その1(加速度応答スペクトル)： $c=85$, $\alpha=0.1$, $\eta \min=0.3$

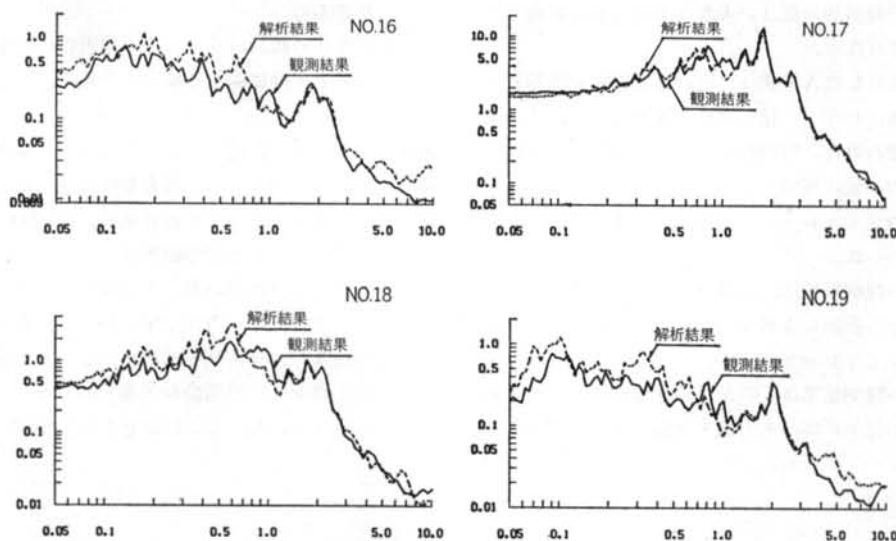


図-11 B基礎のシミュレーション；その2(加速度応答スペクトル)： $c=85$, $\alpha=0.1$, $\eta \min=0.3$

卓越する地震波の場合、約0.5秒以下の短周期側で解析結果の方がかなり小さくなった。これは、式(2)から求まる η が短周期側で小さくなり過ぎるためと思われる。そこで、 η の最小値を0.3におさえて再計算を行なった。結果を図-10に示す。観測結果が実線で、解析結果は破線である。また、このスペクトルの計算では減衰定数は2%である。観測結果と解析結果は比較的良好に合っている。

このように、 $D=30$ m, $c=85$ m/sec, $\alpha=0.1$, $\eta \min=0.3$ とすれば、B基礎の観測結果は比較的良好にシミュレートできることが分かったので、今度は第2期観測の

結果についても解析を行なってみた。ただし、今回はフィルターをかけた地震波は C_1 でのものではなく、B基礎直下の B_2 でのR方向成分である。結果を図-11に示すが、これもかなりよく合っており、とくに1秒以上の長周期側では、第1期観測にもとづく結果よりもはるかによい。これは、 C_1 と B_2 は図-3をみれば分かるように75m離れているため、各測点での地層構成の違いが現れたものと思われる。

以上の解析結果から、上に述べた入力定数のもとではB基礎の観測結果は入力損失理論によってかなりよくシミュレートできると考えられる。しかし、入力定数の中

のみかけの速度 c あるいはフィルター定数 τ の決定法は、まだ確定はしていない。今回の解析では、今までの経験ならびに C_1 と B_1 での観測結果を参考にして c を決定したが、実際の設計においてはこのように観測結果がそろっていることは少ないと思われる。したがって、今後はできるかぎり多くの実測資料を用いて、 c あるいは τ の一義的な決定法を研究する必要がある。

§ 7. おわりに

地震観測を通じて、セメント系の地盤改良に伴う制震効果を検討した結果、まず観測結果からは次のようなことが分かった。

- 1) 改良部では、未改良部に比べて地震波の短周期成分が少なくなり、改良地盤はローパスフィルターの役割を果たす。
- 2) 改良部での地震加速度は、未改良部のそれに比較して著しく小さくなる。
- 3) 深くまで改良したA基礎は、短周期側から長周期側まで広い範囲にわたって制震効果を発揮するが、浅い改良のB基礎の場合、短周期側では大きな効果が期待できるものの、長周期側では効果はない。

観測結果のシミュレーションからは以下に述べるようなことが分かった。

- 1) A基礎での観測結果は、改良部とその周辺の未改良部を一体とした有限要素系モデルによる動的解析で、比較的良好にシミュレートできる。
- 2) B基礎での観測結果は、みかけの速度あるいはフィルター定数が分かれば、入力損失理論によってかなりよくシミュレートできる。

しかし、以下のような問題は今後の研究課題として残されている。

- 1) 今回検討の対象とした地震記録はすべて振幅の小さなものであるから、これから得られた制震効果に関する知見が大地震時でも成り立つか否かの検討。これに関しては、大地震時の記録がない現在では予測的なことしか言えないが、改良部が大地震に対しても十分な耐震性能をもっていれば、上に述べた効果は期待できると思われる。
- 2) 改良部の形状、寸法および剛性と制震効果の関係についての検討。この問題のうち、改良部寸法と制震効果の関係は、B基礎の直径を半分にして地震観測を行なったので別の機会に報告する予定である。
- 3) 入力損失理論におけるみかけの速度、あるいはフィルター定数の合理的な決定法に関する研究。これは重要な問題であり、石井らにより実測記録にもとづく研究¹³⁾¹⁴⁾もなされているが、筆者らも今後検討して行くつもりである。

なお、今回の検討はすべて水平地震動に対するものであったが、上下動に関する検討も今後行なう予定である。

謝辞 本研究は(財)電力中央研究所土木技術研究所と共同で行なったものである。研究を遂行するにあたり、同研究所の林副所長をはじめ桜井部長、江刺室長、沢田義博氏、岩楯敏広氏など地盤耐震部の方々には、多大なご指導・ご協力をいただいた。末尾ながら、心からお礼を申し上げます。また、当社土木営業企画部提部長、土木技術部姫路課長、技術開発部清水課長、手賀沼作業所瓜生工事長、研究所山原部長など多くの方々からも、多大な援助をいただいた。ここに謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 山原浩：“地震時の地動と地震波の入力損失（第1報）”日本建築学会論文報告集 第165号（昭和44年11月）
- 2) 石井清、小山和夫、渡辺弘之：“LNG 地下タンクの地震観測”土木学会第33回年次学術講演会講演概要集 第1部（昭和53年9月）
- 3) 吉田保夫、沢田義博、橋本宏一、江刺靖行、木下直人：“ソイルセメント系地盤改良による耐震効果（その1）土質調査・試験からみた改良効果”第15回土質工学研究発表会（昭和55年6月）
- 4) 森信夫、伊藤益光、堀内澄夫、木下直人：“ソイルセメント系地盤改良による耐震効果（その2）改良土の静力学特性”第15回土質工学研究発表会（昭和55年6月）
- 5) 塩見哲、橋本宏一、平田和太、佐々木俊二、渡辺啓行：“ソイルセメント系地盤改良による耐震効果（その3）起振実験からみた地盤改良効果”第15回土質工学研究発表会（昭和55年6月）
- 6) 佐々木俊二、塩見哲、橋本宏一、平田和太、江刺靖行：“ソイルセメント系地盤改良による耐震効果（その5）地盤改良に

よる振動の通減効果”第15回土質工学研究発表会（昭和55年6月）

- 7) 岩堀敏広, 上島照幸, 江刺靖行, 渡辺啓行: “ソイルセメント系地盤改良による耐震効果 (その6) 起振実験・地震観測結果の数値シミュレーション” 第15回土質工学研究発表会（昭和55年6月）
- 8) 沢田義博, 矢島浩, 佐々木俊二, 江刺靖行, 渡辺弘之: “ソイルセメント系地盤改良による耐震効果 (その4) 地震観測からみた地盤改良効果” 第15回土質工学研究発表会（昭和55年6月）
- 9) 竹脇尚信, 沢田義博, 清水勝美, 渡辺浩平: “ソイルセメント系地盤改良による耐震効果 (その7) 数値解析による改良地盤の制震効果の検討” 第15回土質工学研究発表会（昭和55年6月）
- 10) 沢田義博, 矢島浩, 佐々木俊二, 江刺靖行: “セメント系地盤改良の耐震効果に関する研究 地震観測から見た改良地盤の制震効果・その1” 電力中央研究所報告 No.380022（昭和55年11月）
- 11) 竹脇尚信, 沢田義博, 清水勝美: “セメント系材料による改良地盤の制震効果のシミュレーション” 土木学会第35回年次学術講演会講演概要集 第1部（昭和55年9月）
- 12) 竹脇尚信, 中櫨新, 田蔵隆: “半無限要素の特性について” 土木学会第30回年次学術講演会講演概要集 第1部（昭和50年10月）
- 13) 石井清: “実測資料に基づく地震波の入力損失フィルターの提案” 清水建設研究所報 Vol.33（昭和55年10月）
- 14) 石井清, 山原浩: “大型地下タンクの実測記録による地震波の入力損失の検討” 日本建築学会論文報告集 第312号（昭和57年2月）

