

清水建設(株)研究所 正会員 竹 脇 尚 信
 (財)電力中央研究所 沢 田 義 博
 清水建設(株)土木設計部 清 水 勝 美

1. 研究の目的

未改良地盤にくらべてセメント系材料によって改良された地盤では、地震時の最大加速度の著しい低減あるいは入力地震波の短周期成分のカットなど、かなりの制震効果があることを筆者らは文献(1)、(2)で報告した。その研究の過程において、平面的には直径30mの円形の広がりをもつもの、深さ方向へはわずか2mの厚さしかもたない改良地盤(図-1のB基礎)でさえも、その上に建てられる1秒以下の短周期構造物に対しては大きな制震効果をもたらすこと、さらにこの現象は山原の入力損失の考えによってある程度説明がつくことなどが分り興味あることと思われた。そこで地震計の配置がえを行って、B基礎による制震効果をもっと詳細に検討することにした。

2. 観測結果

表-1に示すようなGL-18mまでVsが100 m/s以下の軟弱地盤に、セメント系深層混合処理工法によってA基礎およびB基礎と呼ぶ改良地盤を作成し、地震観測を実施した(図-1参照)。ここに、A基礎とは地表面からGL-2mまでは直径30mの円形に、それ以深GL-23mまでを約10×10mの矩形に改良したものであり、B基礎とは地表面下2mまでをA基礎と同様の改良を行ったものである。また、地震観測はB基礎での観測に重点をおくために、文献(2)に示されている地震計の配置を図-1のように変更した。つまり、B基礎工とその直下におおの3個ずつの地震計を配置して、改良部と未改良部での最大加速度および位相を比較しようというわけである。

昭和55年2月中にNO.16からNO.19までの4個の微小地震が観測された。1例としてNO.17地震のR方向の加速度記録を図-2に示す。左側が基礎直下の3点での記録で、右側が基礎工のものである。また、R方向とは図-1のA₁からB₁へ向う方向である。これらの図から次のようなことが分る。

(1)基礎直下の3点での地震波は、長周期成分の位相はほぼ合っているものの短周期成分には位相差が見られ、最大加速度も3点で最大1.75倍の違いがある。(2)基礎工の3点での地震波は、

表-1. 地盤の物性値

GL (m)	Vs (m/s)	γ (t/m ³)	ν	G (t/m ²)
-2	220	1.40	0.445	6910
-10	21.5	1.40	0.4998	66
-12	50	1.40	0.499	357
-16	64	1.40	0.499	585
-18	88	1.40	0.497	1110
-23	270	1.60	0.484	11900
-50	334	1.85	0.475	21000
-55	400	1.85	0.466	30180

(註) GL-2mまではB基礎の物性値

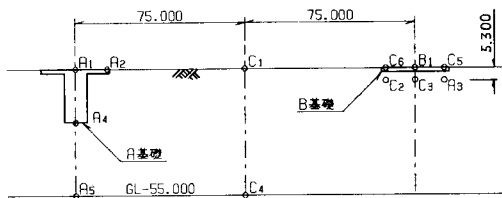


図-1. 地震計の配置図

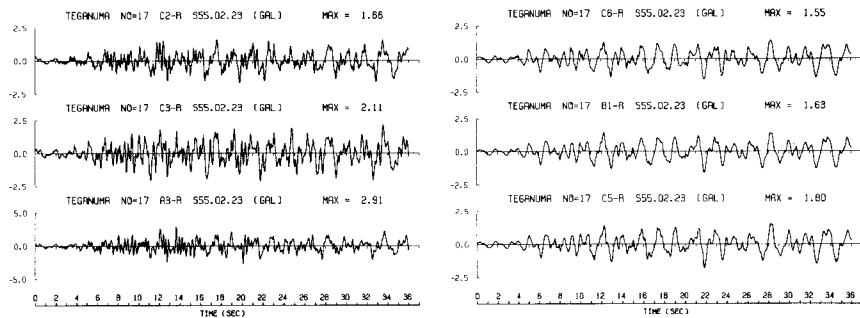


図-2. NO.17地震の加速度波形(R方向)

長周期成分のみならず短周期成分もその位相ずれは少なく、また、3点間の最大加速度も大差はない。(3) 基礎上の地震波は基礎直下のそれに比べて最大加速度は小さく、短周期成分も少なくなっている。

これらの観測結果は、剛性の高いB基礎がその直下の位相差をもつ未改良地盤の動きを拘束あるいは平均化すると考えれば説明がつき、これは入力損失の考えに一致する。

3. 入力損失理論にもとづくシミュレーション

はじめにB基礎が未改良地盤にくらべてどの程度の制震効果を有するかを検討するために、B₁とC₃でのR方向の観測記録を用いて加速度応答スペクトルを計算した。このとき、地震波としては卓越振動数の異なるNO.17, NO.18およびNO.19の3波を用いたが、NO.17は比較的長周期成分の多い波で、NO.19は短周期成分の卓越する波である。また、減衰定数は2%とした。結果を図-3に示す。実線がB₁に関するスペクトル、破線がC₃に関するものである。この図から、約1秒以上の長周期成分の波に対してはB基礎はほとんど制震効果はないが、それ以下の短周期成分の波に対しては大きな効果があること、長周期成分の多い波よりも短周期成分の卓越する地震に対してB基礎はより大きな制震効果をもたらすことなどが分る。

つぎにC₃の観測結果からB₁の結果を予測するために、C₃の加速度波形に(1)入力損失理論にもとづく次式で示される数値フィルタ⁽¹⁾をかけたのち、加速度応答スペクトルを計算した。

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

$$\eta_{\min} = 0.3$$

この式は山原による数値フィルタ⁽³⁾を円形基礎に適用するために変形するとともに改良部と未改良部の剛性の違いが考慮できるようにしたものである。さらに、文献(1)で述べたように式(1)の第1式は短周期成分をカットしすぎる傾向があるので、文献(2)の結果を参考にしても最小値を0.3におさえた。なお、式(1)における η は入射波の変位振幅に対する基礎の変位振幅の比、 ξ は基礎直径に対する入射波の波長の比、 α は改良部に対する未改良部の波動インピーダンス比、そして J_1 は第1種ベッセル関数である。 ξ はいわゆるフィルタ一定数 η と入射波の振動数 f (Hz)を用いて書きなおすと $\xi = 1/\eta f$ となり、この解析では $\eta = 0.35$ とした。結果を図-3に $\circ-\circ-\circ$ 印で示す。この図を見ると、入力損失理論によって未改良地盤の観測結果から改良地盤上の地震波は、 η を適確に決定すれば精度よく推定できることが分る。

4. まとめ

約20mの深さにわたってVsが100m/s以下の軟弱地盤に、セメント系深層混合処理工法によって改良地盤を作成し地震観測を行ったところ、B基礎でさえも大きな制震効果のあることが分った。そしてこの現象は、フィルタ一定数を適確に評価すれば、入力損失理論によってよく説明できることも分った。

参考文献 (1) 竹脇ら、「ソイルセメント系地盤改良による耐震効果 その7」第15回工質工学研究発表会、昭和55年6月。(2) 沢田ら、「ソイルセメント系地盤改良による耐震効果 その4」第15回工質工学研究発表会、昭和55年6月。(3) 山原「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、昭和44年11月。

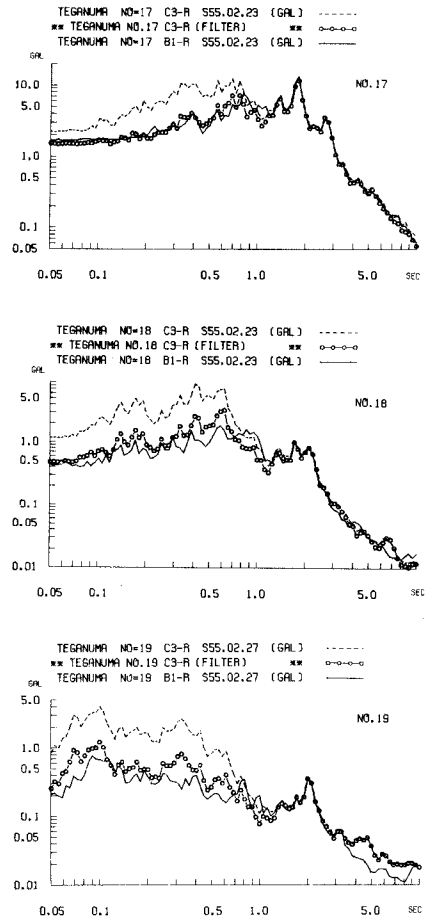


図-3 加速度応答スペクトル