

(47) G. C. P. で改良された地盤で観測された地震記録の解析

宮城県道路公社 高橋 準 一  
 東北大学工学部 柳 沢 栄 司  
 宮 城 県 三 浦 良 信  
 " ○加 藤 鎌 之

1. まえがき

グラベルコンパクションパイル工法 (G. C. P.) で改良された地盤はグラベル部と在来の地盤からなる複合地盤であるため、その力学モデルの作成に際しては注意が必要である。通常・表層地盤の動特性を表す弾性波速度はPS検層によって求めることが多いが、G. C. P. で改良された地盤は複合地盤であるため、必ずしもPS検層によって地盤全体の動特性を把握できるとは限らない。

筆者らはG. C. P. で改良した後に施工された試験盛土(宮城県・登米郡)において1987年7月より地震観測を続けていたが、1988年1月に至近距離で発生した地震記録が得られた。本報告書はこの地震記録によって改良地盤の動特性について検討を加えたものである。

2. 地質および地震観測

図1の地質縦断面図に地震計の設置位置を示す。表層地盤は第4紀の海成および淡水成の軟弱層であり、G. C. P. で改良した後、約5mの盛土が施工されている。地盤改良は試験盛土の中央部では中間層まで、両サイドでは耐震工学上の基盤面まで行なわれており、置換率が10%と15%の部分がある。

表1にPS検層および地表探査(屈折法)から求めた弾性波速度を示す。なお、改良部のPS検層はグラベル部をはずした孔内で行なわれている。地表探査はPS検層と比較してややキメの粗い探査法であり、複雑な土層の検出には不向きである。しかし、この特性は今回のような複合地盤全体の動特性を把握するといった点では有利に働くと考えられる。当初、PS検層では、剛性の高いグラベル部を伝播した波動を拾い、弾性波速度が大きくなることが予想された。しかし、表1をみるとPS検層と地表探査に顕著な差はみられなかった。地震計は試験盛土中央部の基盤内(地震計No.1)、中間層(地震計No.2)、地表(地震計No.3)、および無改良地盤の地表(地震計No.4)の4カ所に設置されている。地震計No.1~3は地中埋込型であり、地震計No.4はコンクリートブロック上に設置されている。各観測位置では盛土軸方向(X方向)、盛土軸方向(Y方向)、上下方向(Z方向)の3成分の観測が行なわれている。なお、起動は地震計No.1によって行なわれるようになっている。

表1 原位置試験から求めた弾性波速度

土 層	P波 (m/s)		S波 (m/s)		
	P S 検層	地表探査	P S 検層	地表探査	
盛 土	230~700	300~600	120~210	110~170	
改 良 地 盤	A <sub>c</sub> 11	1600~1800	1700	140	
	A <sub>c</sub> 12				
	A <sub>s</sub> 1				
無 改 良 地 盤	A <sub>c</sub> 2	1800	1700	140	170
	A <sub>c</sub> 11	320~800	360~800	50	50
	A <sub>c</sub> 12	800~1400	800~1300	80~100	70~130
地 盤	A <sub>s</sub> 1	1400	1300	130	130
	A <sub>c</sub> 2	1400~1700	1300~1700	120~140	130
	基 盤 (茶館~ 金沢層)	1600~2200	2000~2200	270~530	270~390

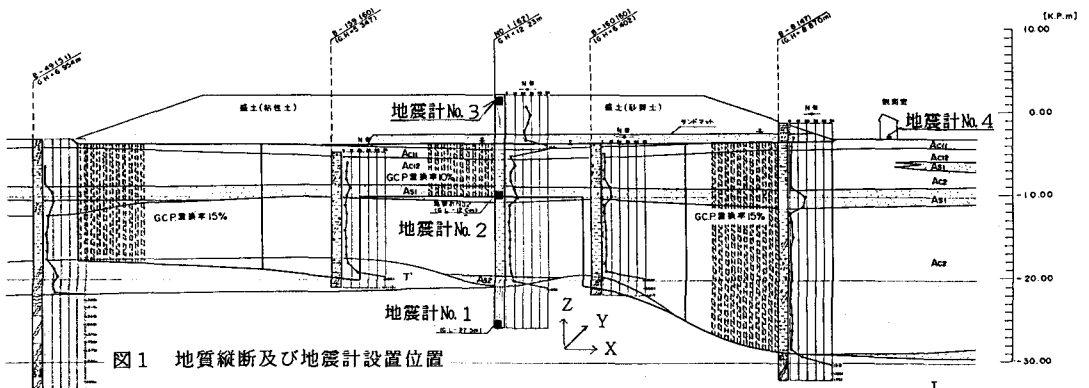


図1 地質縦断面及び地震計設置位置

### 3. 観測波形

1988年1月27日宮城県北部で発生した地震(N 38° 46', E 141° 08', M=4.5, 震源深さ11km, 震央距離10km)の観測記録を図2~5に示す。水平方向の最大加速度は、試験盛土の基盤で約170gal, 地表で約140galであるのに対し、無改良地盤の地表では約340galとかなり大きくなっている。また、試験盛土の上面では上下動の最大加速度が約230galで水平動のおよそ1.6倍とかなり大きく、上下動の増幅率がかなり高いことが知られる。

図6に基盤の観測記録のフーリエスペクトラムを示す。水平動の卓越周波数は約5Hz, 上下動は約10Hzと高周波数成分が卓越しており、また主要動が最大でも4~5秒と短く、近距離地震の特徴がみられる。

図7に基盤(地震計No.1)と各観測位置(地震計No.2~4)間の伝達関数を示す。水平動についてみると次のことがいえる。①1次の固有振動数は試験盛土位置, 無改良地盤とも1.2~1.5Hz程度である。②1次の固有振動数の増幅率を大きいものから並べると無改良地盤の地表, 試験盛土の地表, 中間層の順になる。③無改良地盤の高周波成分の増幅率は試験盛土に比較してかなり大きい。

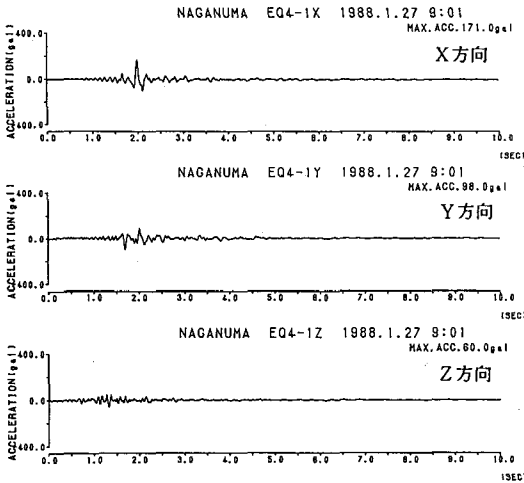


図2 観測記録(地震計No.1)

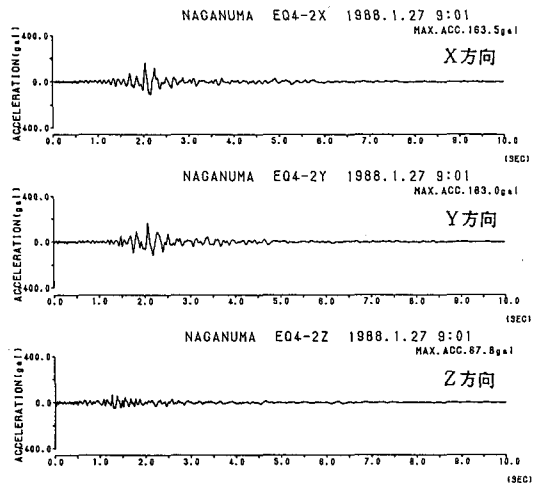


図3 観測記録(地震計No.2)

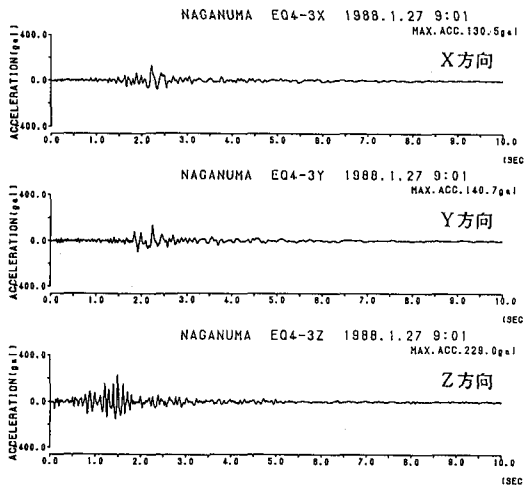


図4 観測記録(地震計No.3)

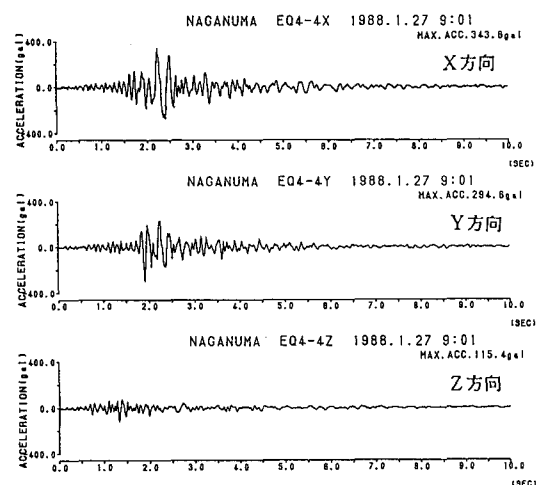


図5 観測記録(地震計No.4)

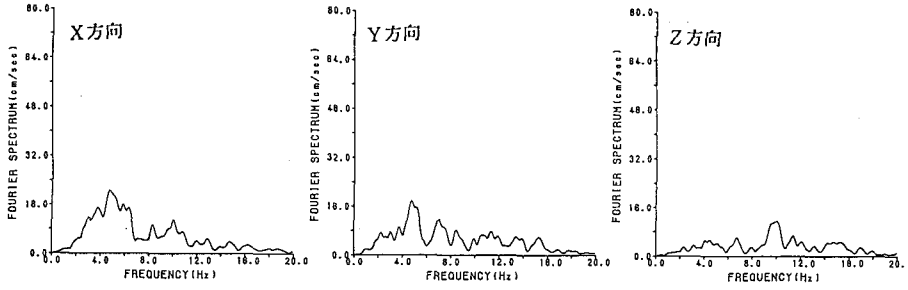


図6 地震計No.1の観測記録のフーリエスペクトラム

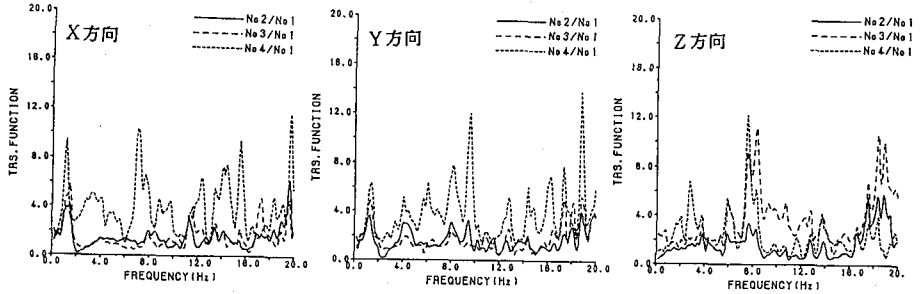


図7 伝達関数

#### 4. 地震応答解析による検討

図1のX方向（盛土軸直角方向）について、図8の2次元FEMモデルを作成し、地震応答解析を行った。入力動は基盤のXおよびZ方向（盛土軸直角方向および上下方向）の観測記録である。表2に解析に用いた各土層の土質定数を示す。このうち、せん断波速度およびポアソン比は表1の原位置試験に基づいたものである。地震応答解析において土質定数のひずみ依存性を考慮せず、減衰を一率10%とした。なお、解析の結果、せん断ひずみは無改良地盤の地表付近（Ac11, Ac12）において最大となるが、高々0.1%程度であった。他の土層ではこれよりかなり小さく、土質定数のひずみ依存性の影響は小さいと考えられる。

図9, 10に地震計No.2～4位置の観測記録と地震応答解析結果を合わせて示す。また、図11, 12にはこれらのフーリエスペクトラムを示す。これらを見ると次のことがいえる。①水平動については、試験盛土位置の地震計No.2, 3では観測値と解析値が比較的一致している。しかし、無改良地盤（地震計No.4）では観測値に比較して解析値が小さいものとなっている。これは特に高周波成分で顕著である。②水平動に比較して上下動は、観測値と解析値の差が大きい。無改良地盤において、解析値は観測値を大きく上回っている。

表2 地震応答解析に用いる土質定数

土層	要素グループ	単位体積重さ (t/m <sup>3</sup> )	せん断波速度 (m/s)	ポアソン比	備考
堤体 (粘性土)	A	1.50	210	0.49	
堤体 (砂質土)	B	1.92	210	0.45	
ドレーン	C	1.80	210	0.45	
Ac11	D-1	1.57	140	0.49	G.C.P.
	D-2	1.57	50	0.49	
Ac12	E-1	1.57	140	0.49	G.C.P.
	E-2	1.57	80	0.49	
As1	F-1	1.80	140	0.49	G.C.P.
	F-2	1.80	130	0.49	
Ac2	G-1	1.52	140	0.49	G.C.P.
	G-2	1.52	140	0.49	
As2	H	1.80	130	0.49	
築路一金沢層 (T)	I-1	2.00	240	0.46	未閉結
築路一金沢層 (T)	I-2	2.00	400	0.46	基盤

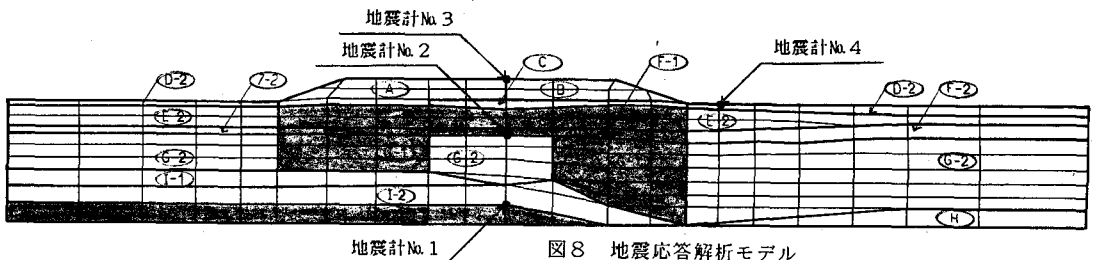


図8 地震応答解析モデル

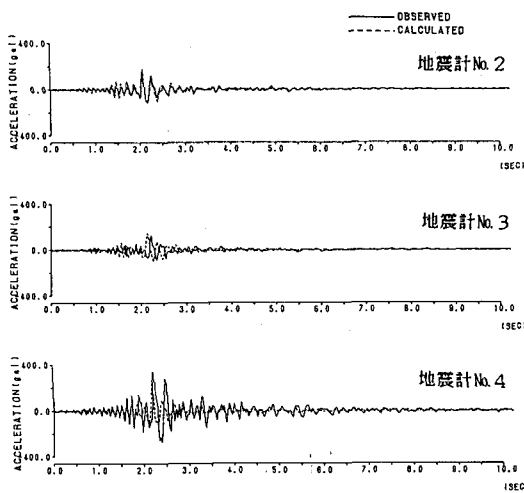


図9 観測記録と応答解析結果の比較 (X方向)

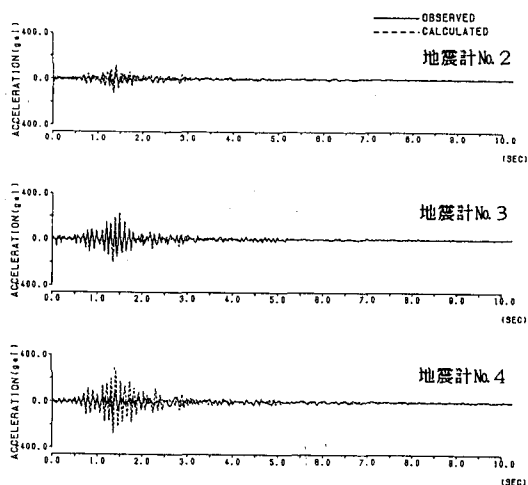


図10 観測記録と応答解析結果の比較 (Z方向)

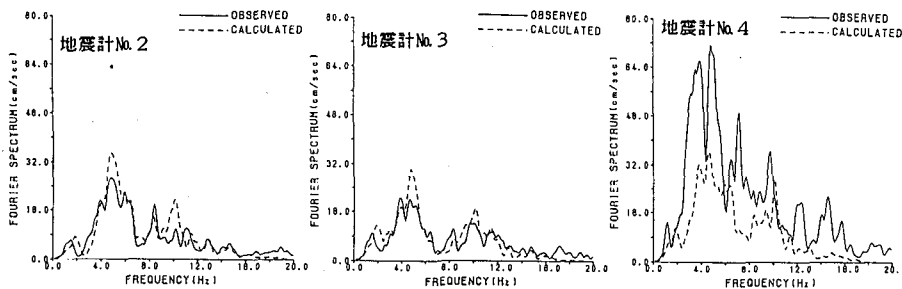


図11 観測記録と応答解析結果のフーリエスペクトラム (X方向)

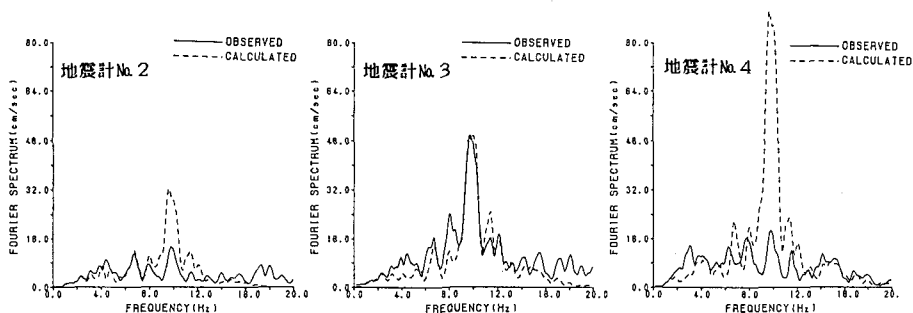


図12 観測記録と応答解析結果のフーリエスペクトラム (Z方向)

### 5. おわりに

原位置試験に基づいた土質定数を用いて地震応答解析を行なった結果G, C, P. で改良した後に施工された試験盛土の応答をある程度再現できることがわかった。しかし、無改良地盤については、特に高周波成分の応答を解析によって再現することができなかった。この原因や上下動の応答の差異については、今後さらに検討を続けていく必要がある。