

I-26 砂質地盤の動的地盤反力係数の実験結果

東京電力K.K.技術開発研究所 正員 前田 弘
同 同 〇高比良敬一
同 同 江川顕一郎

1. まえがき

埋立砂質地盤に建設する火力発電所等の土木構造物基礎の耐震性検討に必要な基礎資料を得るため、現位置における弾性波試験、コンクリートブロック加振実験および室内における諸試験等による地盤の動的特性調査を行った。今回の報告は、これら調査のうち埋立原地盤とこれにサンドコンポーザ処理した地盤上でコンクリートブロックの強制振動実験を行ない、これら地盤に直接基礎を載せた構造物の地震応答解析に必要な動的地盤反力係数および減衰定数が、地盤改良によりどのように変化するかを調査した結果について述べるものである。

2. 実験場所の地質

実験場所は現在当社が建設中である火力発電所構内で、この付近の地質は図-1のボーリング柱状図に示すように、大別して表層部より埋立土の砂質土層と粘性土層、沖積世の砂質土層および洪積世の砂質土層とこの層内に局部的に介在している粘性土層によって構成されている。またサンドコンポーザによる地盤改良は長さ378.5m、巾14.4mの範囲に1辺1.6mの正三角形網を粗みその各頂点に径400mm、長さ4mの砂杭を間割する地表部分は除き地下4m～8mの区間(図-2参照)に実施した。埋立原地盤およびサンドコンポーザ処理した地盤について弾性

図-1 ボーリング柱状図

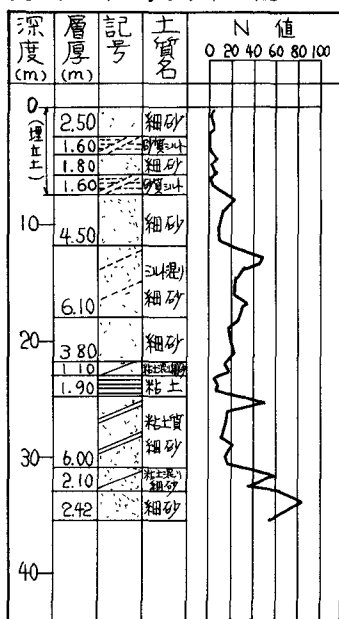


表-1 弾性波試験結果(埋立原地盤)

深度 (m)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	単位体積重量 (kg/m³)	ポアソン比	剛性率 (kg/cm²)	動弾性係数 (kg/cm²)
0~8	900	120	1.63	0.49	240	710
8~14	900	220	1.91	0.47	940	2770
14~18	900	370	1.85	0.40	2590	7230
18~24	1200	250	1.69	0.48	1080	3190
24~26	1200	420	1.76	0.43	3170	9070
26~32	1800	280	1.87	0.49	1500	4460
32~35	1800	560	1.92	0.45	6150	17800

表-2 弾性波試験結果(サンドコンポーザ処理地盤)

深度 (m)	P波速度 (m/s)	S波速度 (m/s)	単位体積重量 (kg/m³)	ポアソン比	剛性率 (kg/cm²)	動弾性係数 (kg/cm²)
0~3.5	280	100	2.00	0.43	160	460
3.5~4	1500	100	1.58	0.49	160	480
4~8	1500	160	1.65	0.49	430	1270
8~15	1500	230	1.92	0.49	990	2960
15~20	1500	320	1.93	0.48	1890	5580

波試験を行なった結果を参考に表-1、表-2に示す。表-2において3.5m以深のP波速度は地下水の影響によるものと考えられる。

3. 実験概要

前述の埋立原地盤とこれにサンドコンポーザ処理した地盤上に長さ40m、巾3.0m、高さ1.5mのコンクリートブロックを作製し、この上に起振機を据付け、ブロックの長辺方向と短辺方向に水平加振し、共振振動時におけるブロックの振動加速度、ブロック底面の圧力、ならびに周辺地盤の地表および地中における振動加速度を測定し地盤を含めた基礎体の動的地盤反力係数と減衰定数の調査を行なった。

表-3 起振機の性能

型式	早坂機製作所 VE10-40型
加振方向	水平・鉛直各1方向
振動数範囲	0~15 Hz (正弦波)
最大加振力	4,000 kg cm
最大加振力	10 t (於8 Hz以上)
自重	1.8 t
電動機出力	22 kW

コンクリートブロックは埋立原地盤では表層部(攪乱部)を約50cm取除き水平に均した後コンクリートを直接打設して製作した。コンクリートブロック底面の圧力分布測定用の土圧計設置方法は設置個所に箱抜きを施して厚さ10cmのコンクリートを打設し、そこに土圧計を埋設した。その後所定の寸法となるようコンクリートを打継いだ。サンドコンポーザ処理した地盤については、地表より4.5mまで機械掘りし4.5mから5.0mまでは地盤を乱さないように手掘りとし、この地盤上に前述と同様な方法でコンクリートブロックを作製した。

測定に使用した計器類の仕様、使用台数および設置箇所は図-2に示すとおりである。また起振機の性能を表-3に示す。加振方法は加振力を一定として振動数を原則として1Hz、(共振変動数付近では0.5Hz)ずつ増加して各振動数毎に測定を行なった。加振力は長辺方向の時1,2,3,4,5つの5種類、短辺方向の時1,3つの2種類とした。但しサンドコンポーザ処理した地盤については長辺方向のみ水平加振を行なった。

4. 実験結果

コンクリートブロックの長辺方向水平加振時における変位共振曲線の1例を図-3に示す。また実測共振変動数および実測加速度振中から換算した変位振中を使用し(1)式ならびに(2)式により動的地盤反力係数を算定すると表-4、表-5に示すとおりである。(2)式はコンクリートブロックが地盤の鉛直、水平方向ばねで支えられているものと仮定した時の非減衰時剛体ロッキング振動の固有振動数を求める式である。この

図-2 コンクリートブロックの大きさならびに計器設置箇所(長辺方向加振時)

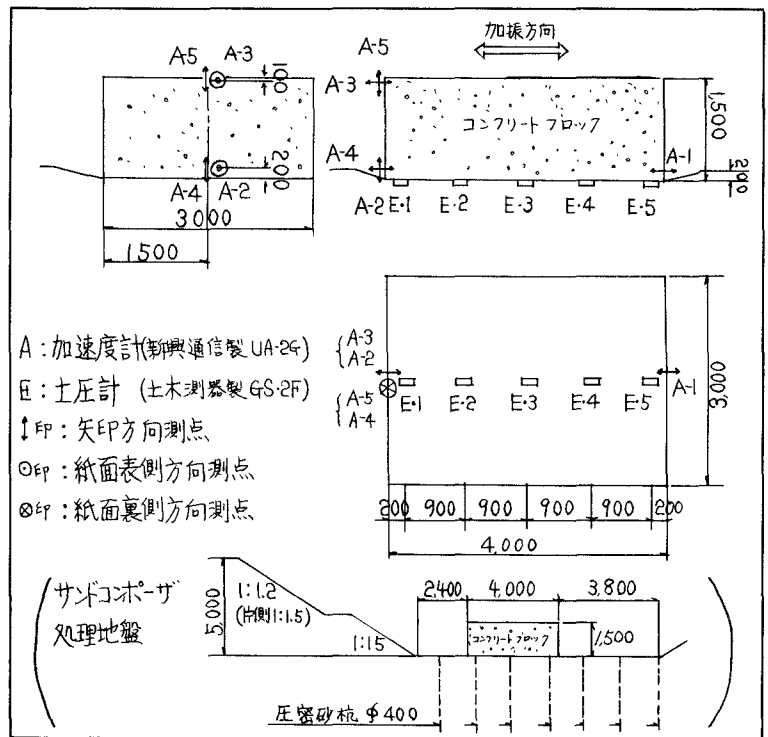
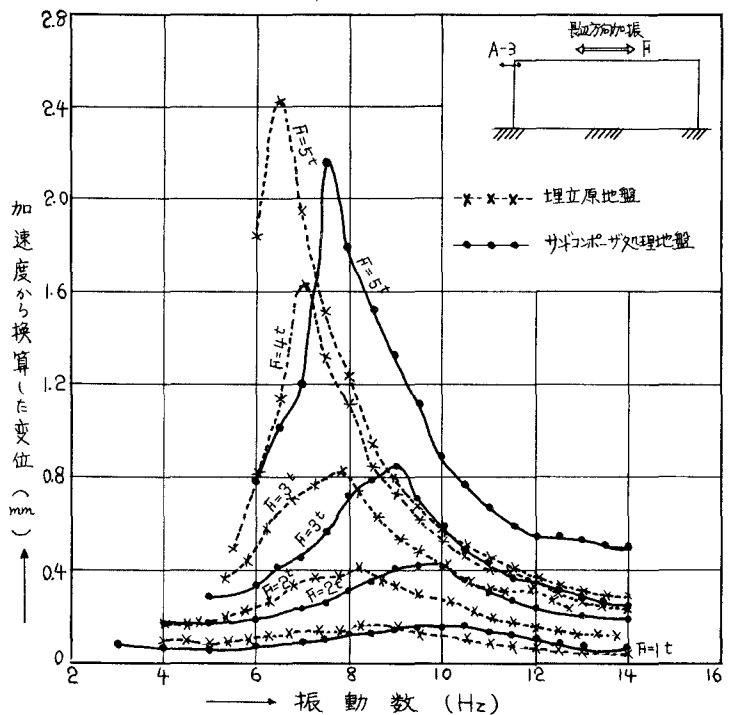


図-3 ブロックの換算変位共振曲線



式中で K_{KH} は一般に中川が与えている(1)式で求めた値を使用する。

$$\left. \begin{aligned} K_H &= \frac{m \cdot \omega_l^2}{A} \left\{ 1 + \frac{h}{H} \left(\frac{y_T}{y_B} - 1 \right) \right\} \\ K_{VH} &= \frac{J_B \cdot \omega_l^2}{I_B} \left\{ 1 + \frac{h \cdot H}{i_B^2} \left(\frac{1}{\frac{y_T}{y_B} - 1} \right) \right\} \\ K_H &= \frac{m \cdot \omega_H^2}{A} \\ \frac{\omega_H^2}{\omega_l^2} &= \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{e_0^2}{i_0^2} + \frac{S^2}{i_0^2} \pm \sqrt{\left(1 + \frac{e_0^2}{i_0^2} + \frac{S^2}{i_0^2} \right) - \frac{4e_0^2}{i_0^2}} \right\} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{-----(1)} \\ \text{-----(2)} \end{array}$$

表-4 動的地盤反力係数(埋立原地盤)

ω_l, ω_2 : ロッキング振動の1次および2次の固有円振動数 (sec⁻¹)

ω_l : 水平振動の固有円振動数 (sec⁻¹)

R_H : 水平ばね定数 (kg・cm⁻¹)

R_R : 回転ばね定数 (kg・cm)

K_H : 水平方向地盤反力係数 (kg・cm⁻³)

$$\left(= \frac{R_H}{A} \right)$$

K_{VH} : 鉛直方向地盤反力係数 (kg・cm⁻³)

$$\left(= \frac{R_R}{I_B} \right)$$

m : ブロックの質量 (kg・sec²・cm⁻¹)

A : ブロックの底面積 (cm²)

J_B : ブロック重心点の質量慣性

モーメント (kg・sec²・cm)

J_B : ブロック底面の中立軸に因

する質量慣性モーメント (kg・sec²・cm)

I_B : ブロック底面の断面2次

モーメント (cm⁴)

S : ブロック底面から重心点までの高さ (= h) (cm)

H : ブロックの高さ (cm)

y_T : ブロック上端の共振時水平変位 (cm)

y_B : ブロック下端の共振時水平変位 (cm)

$$i_0^2 = J_B / m \quad i_B^2 = J_B / m \quad e_0^2 = R_H / K_H = K_{VH} \cdot I_B / A$$

加振 方向	加振力 (t)	共振 数 (Hz)	y_T (mm)	y_B (mm)	(1) 式による			(2) 式による		
					$K_{VH}(\%)$	$K_H(\%)$	K_H/K_{VH}	$K_{VH}(\%)$	$K_H(\%)$	K_H/K_{VH}
長 辺 方 向	1	8.9	0.16	0.10	3.65	1.54	0.42	3.28	1.64	0.5 ×1.2算出
	2	8.2	0.42	0.25	2.91	1.35	0.46	2.79	1.39	↑
	3	7.8	0.82	0.51	2.77	1.19	0.43	2.52	1.26	↑
	4	7.0	1.66	0.96	2.10	1.00	0.48	2.03	1.02	↑
	5	6.5	2.48	1.56	1.93	0.81	0.42	1.75	0.88	↑
短 辺 方 向	1	8.0	0.22	0.11	3.41	1.45	0.43	3.20	1.60	↑
	3	7.5	1.28	0.67	3.12	1.24	0.40	2.76	1.38	↑

表-5 動的地盤反力係数(サンドコンボーズ処理地盤)

加振 方向	加振力 (t)	共振 数 (Hz)	y_T (mm)	y_B (mm)	(1) 式による			(2) 式による		
					$K_{VH}(\%)$	$K_H(\%)$	K_H/K_{VH}	$K_{VH}(\%)$	$K_H(\%)$	K_H/K_{VH}
長 辺 方 向	1	10.5	0.16	0.14	1.24	1.78	0.14	8.72	1.74	0.2 ×1.2算出
	2	10.2	0.41	0.33	2.92	1.76	0.22	8.23	1.65	↑
	3	8.9	0.85	0.73	8.00	1.29	0.16	6.27	1.25	↑
	5	7.5	2.15	1.78	4.77	0.94	0.20	4.45	0.89	↑

表-6 減衰定数

加振力 (t)	埋立原地盤		サンドコンボーズ 処理地盤
	長辺方向加振 (%)	短辺方向加振 (%)	長辺方向加振 (%)
1	24	19	19
2	21	—	14
3	18	11	11
4	10	—	—
5	10	—	9.3

また共振曲線から求めたブロック-地盤系の減衰定数を表-6に示す。

5. 実験結果の考察

実験場所付近の埋立土の深さは場所によって異なるが、一般的には6~7m程度(図-1の地質では7.5m)でN値は0~5程度である。埋立土の下層は旧海底地盤で層厚約5mの沖積層となっておりN値は10前後である。これら地層のうち地下4~8mの区間に前述のとおりサンドコンボーズを実施した。その結果、弾性波試験結果より求めたS波速度は原地盤の120%に対し160%と増加し地盤改良の効果が明らかである。またコンクリートブロック

加振実験の結果より得られた動的地盤反力係数は、同一加振力において水平方向(K_H)が原地盤とほぼ同じであるのに対し鉛直方向(K_V)は原地盤の3倍程度大きくなっている。

コンクリートブロック加振実験より求まる動的地盤反力係数は一般に振動時の変位量およびコンクリートブロックの接地面積により異なり、動的地盤反力係数の値を比較検討するにはこれらの点に十分注意する必要がある。

今回実験結果の鉛直方向動的地盤反力係数(K_{Vd})とコンクリートブロックの回転角との関係を示すと図-4のとおりで回転角すなわち変位量小さい程 K_{Vd} 値は大きい傾向である。関東ローム地盤上における同程度の大きさのブロックの加振実験結果を同図に併記する

と、今回の砂質地盤での傾向はローム地盤での K_{Vd} 値の変化に比べてより大きい変化を示しており、砂質地盤の K_{Vd} 値は振動の変化量に対して敏感に変化するといえよう。また K_{Vd} 値は改良前の原砂質地盤とローム地盤ではほぼ同程度であるが、サンドコンポーザで改良後の地盤ではかなり高い値となる。

減衰定数とコンクリートブロックの回転角との関係を上記と同様に今回実験結果と関東ローム地盤上での結果について示すと図-5のとおりである。減衰定数の変位量に対する傾向も前述の K_{Vd} 値の傾向と同様に砂質地盤上では変位量に対する変化がローム地盤に比べて大きい。

6. あとがき

今回は砂質地盤における動的地盤反力係数に関する1実験結果について報告したが、今後は砂質地盤における動的地盤反力係数の基礎体接地面積との関係について引き続き実験を継続実施していく予定である。

なお本実験の実施に当り御指導を頂いた東京大学久保慶三郎教授および当社利根水力建設準備事務所野口俊郎所長ならびに直接実験解析を担当された同所横手敏郎君に対し深く謝意を表する次第である。

【参考文献】

- 1) 土木学会：振動便覧
- 2) 田治見宏：建築振動学，コロナ社
- 3) 野口俊郎、前田弘、堀口潤一：コンクリート基礎体の加振実験と地震時の答観測結果，第11回地震工学研究発表会講演概要，1971

図-4 動的地盤反力係数(鉛直方向)～回転角

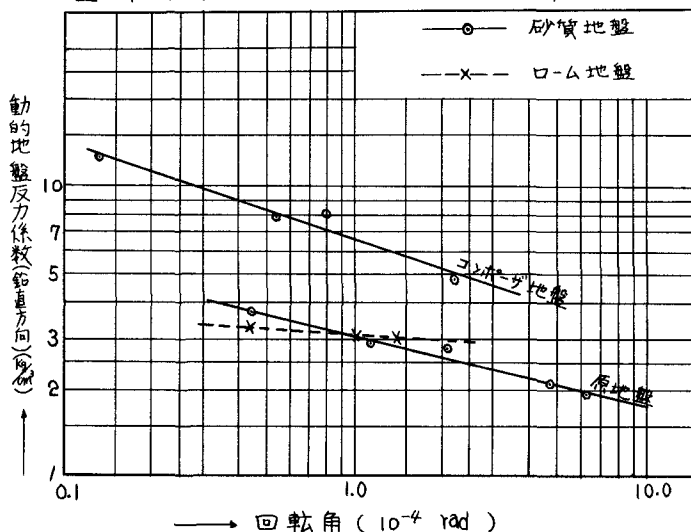


図-5 減衰定数～回転角

