

第4章 基礎入力動の簡易評価

4.1 はじめに

本章では、地震記録に現れる入力損失効果について、既存の簡易評価式により予測することを試みる。また、地震記録と簡易評価式による予測結果との比較を通し、基礎入力動に対する基礎構造形式等の違いの影響を検討する。入力損失効果は、現行の限界耐力計算においても、地下階による根入れ効果を考慮した相互作用係数 β' により評価することは可能であるが、地下階を有さない杭基礎の場合にも、入力損失効果が得られることは、前章までの地震記録の整理・分析結果に見られる通りである。そこで、次節以下では、この杭による入力損失効果についても既往の簡易評価式の考え方にに基づき評価できるか検討する。

入力損失効果は、比較的短い周期の領域で得られるため、より低層の建築物の地震応答に大きく影響すると考えられるが、本章では、こうした上部構造の地震応答にはあまりこだわらず、周辺地盤と建物最下階での入力の関係にのみ着目している。すなわち、より多様な基礎構造形式での入力損失効果を把握するため、観測記録を使った検討の対象として、前章で取り上げた中低層建築物5棟(UTM、EDG、TKS、NIT、ANX)のほか、超高層5棟、免震3棟、中層2棟(いずれも11F)の計10棟を加えている。

簡易な評価式として、以下の4.2節では、基礎構造の根入れ深さに基づく方法を、4.3節では、基礎構造の根入れ深さと表層地盤の1・2次卓越振動数での変位分布に基づく方法を取り上げる。

4.2 基礎構造の根入れ深さに基づく方法

4.2.1 原田の提案式について

簡易評価に当たり、本節では原田の提案した方法を用いる。原田の提案式としては、下記のa)b)が挙げられており、これら(式(4.1)及び式(4.3))による地表面応答に対する基礎入力動の伝達関数と、周辺地盤と建物最下階における地震観測記録から得られるフーリエスペクトル比との対応を検討する。

a)土木学会での提案式

原田の提案式¹⁾は以下のようなものである。地表面応答に対する基礎入力動の水平成分の伝達関数は、次式で表される。

$$H(\omega) = \begin{cases} \left| \frac{\sin(\frac{\omega D_f}{V_s})}{\omega D_f / V_s} \right|, & \omega \leq \omega_n \\ 0.63, & \omega > \omega_n \end{cases} \quad (4.1)$$

ここに、 D_f 、 V_s は、それぞれ基礎の根入れ深さ、基礎周辺地盤のS波速度を示し、 ω_n は次式で示される。

$$\omega_n = \pi V_s / (2D_f) \quad (4.2)$$

$H(\omega)$ は、基礎の平面寸法には依存せず、基礎の根入れ深さ、基礎周辺地盤のS波速度に依存する。

b)土木学会の耐震委員会での提案式

耐震委員会の検討の後、式(4.1)は、次式に変更された²⁾。

$$H(\omega) = \begin{cases} \left| \frac{\sin(\frac{\omega D_f}{V_s})}{\omega D_f / V_s} \right|^2, & \omega \leq \omega_n \\ 0.405, & \omega > \omega_n \end{cases} \quad (4.3)$$

杭による地震動を抑制する効果については、次式を用い、杭による等価根入れ深さとする³⁾。

$$L_{eq} = \frac{\pi^4}{4} \sqrt{\frac{\sum EI}{G}} \quad (4.4)$$

ここに、 L_{eq} は、杭による等価根入れ深さ、 E 、 I は杭のヤング係数、断面2次モーメント、 G は地盤のせん断弾性定数である。また、この値は、杭頭固定の単杭の場合に、曲げモーメントがゼロとなる深度と等値であり、杭径が大きいほど大きくなるが、杭本数が増えてもその増加割合は小さいとされる³⁾。また、文献3)では、群杭基礎を対象に、1)薄層法により水平剛性を求める、2)対応する直接基礎の水平剛性を、根入れ深さをパラメータとして限界耐力計算で定める方法により求める、3)両者の水平剛性が等価となる時の直接基礎の根入れ深さを群杭による等価根入れ深さとする、という手順で、群杭による等価根入れ深さを求めている。その結果として、この値は曲げモーメントがゼロとなる深度とほぼ一致すること、また、群杭基礎の場合であっても、少なくとも杭1本の L_{eq} 程度の根入れ深さを有する直接基礎としての効果は期待できることを示している。

杭基礎について式(4.1)及び式(4.3)を適用する場合には、根入れ深さとして、実際の根入れ深さに、杭による等価根入れ深さを足し合わせた次式による値を用いる。

$$D_{feq} = D_f + L_{eq} \quad (4.5)$$

簡易評価式(4.1)及び(4.3)は、地表面応答に対する基礎入力動の伝達関数を与えている。建物最下階で観測される加速度には上部構造の慣性力の影響が含まれ、厳密には基礎入力動とは異なるが、以下では、基礎入力動が、概ね、これに対応すると考えて、この建物最下階の加速度の地表面加速度に対するフーリエスペクトル比(最下階/地表)と、式(4.1)及び(4.3)を比較する。

建築物12棟についての結果を、表4.2-1~4.2-12に掲げる。これらの表では、各建築物について第2章の整理項目に従い地震記録を整理した結果の一部等を参考として併記している。また次節以下では、これらの表4.2-1~4.2-12から、適宜、式(4.1)及び(4.3)とフーリエスペクトル比(最下階/地表)との比較結果等を抜き出して建築物への基礎入力動に関する検討を行う。

表 4.2-1 建築物 NMW

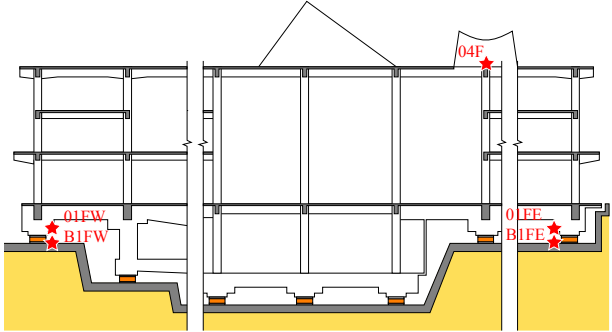
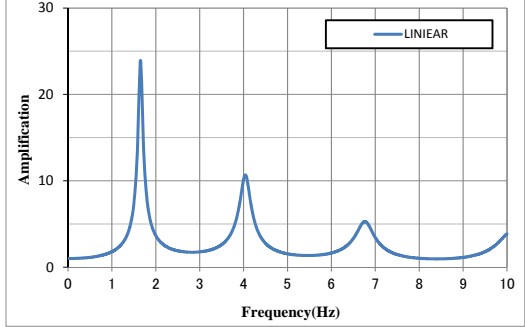
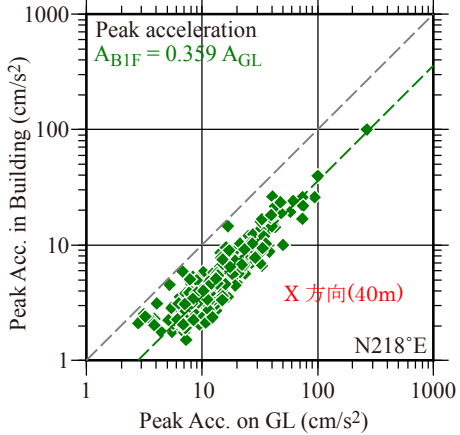
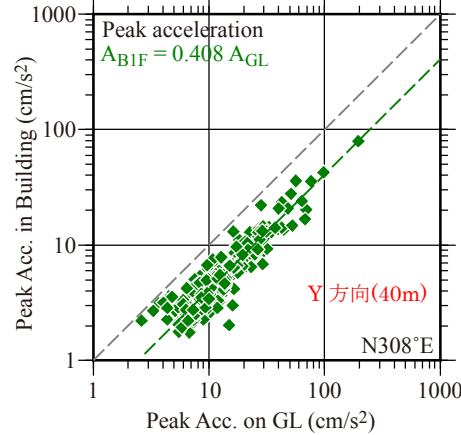
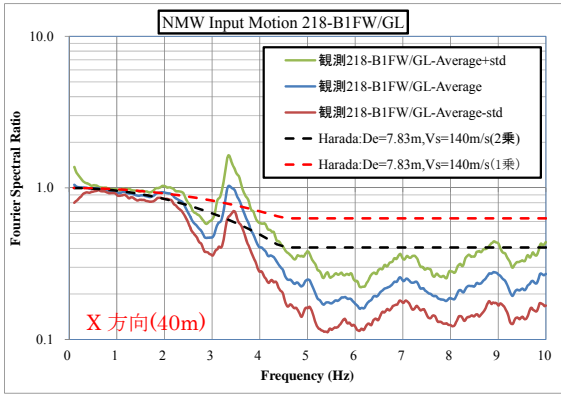
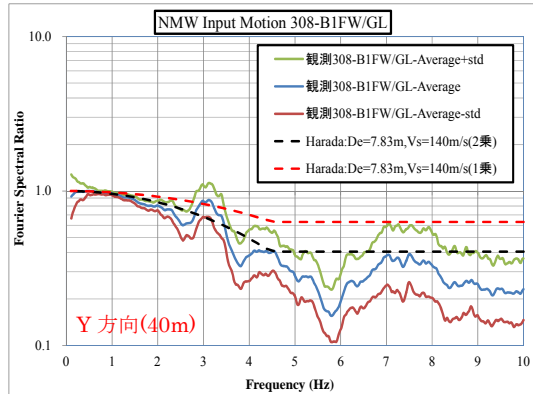
<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：NMW</p> <p>所在地：東京都台東区</p> <p>構造・階数：鉄筋コンクリート造（1998年に免震構造に改修）、地上3階、地下1階</p> <p>基礎：直接基礎、基礎根入れ深さ7.83m</p> <p>建築面積：1,587 m²、延床面積：4,354 m²</p> <p>建築物高さ：10 m</p>	 <p>建築物断面と地震計位置</p>																																				
<p>2)地盤概要</p> <table border="1" data-bbox="146 633 788 963"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.5</td> <td>埋土</td> <td>140</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>6.8</td> <td>ローム</td> <td>140</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>3.2</td> <td>細砂</td> <td>310</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>2.7</td> <td>砂礫</td> <td>350</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>1.3</td> <td>粘土</td> <td>200</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>19.3</td> <td>細砂</td> <td>350-390</td> <td>1.8-1.85</td> </tr> <tr> <td>11.6</td> <td>粘土</td> <td>260-320</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td></td> <td>砂礫</td> <td>540</td> <td>1.9-2.0</td> </tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)	1.5	埋土	140	1.4	6.8	ローム	140	1.4	3.2	細砂	310	1.8	2.7	砂礫	350	2.0	1.3	粘土	200	1.7	19.3	細砂	350-390	1.8-1.85	11.6	粘土	260-320	1.7		砂礫	540	1.9-2.0	 <p>工学的基礎に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)																																		
1.5	埋土	140	1.4																																		
6.8	ローム	140	1.4																																		
3.2	細砂	310	1.8																																		
2.7	砂礫	350	2.0																																		
1.3	粘土	200	1.7																																		
19.3	細砂	350-390	1.8-1.85																																		
11.6	粘土	260-320	1.7																																		
	砂礫	540	1.9-2.0																																		
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=7.83m（等価Vs：140m/s）</p>	<p>杭の効果も含めた等価深さ：なし</p>																																				
<p>4)地表面と地下1階の最大加速度の関係（$A_{B1F}=0.36A_{GL}$, $A_{B1F}=0.41A_{GL}$）</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="268 1137 730 1570">  <p>Peak acceleration $A_{B1F} = 0.359 A_{GL}$</p> <p>X方向(40m)</p> <p>N218°E</p> </div> <div data-bbox="863 1137 1326 1570">  <p>Peak acceleration $A_{B1F} = 0.408 A_{GL}$</p> <p>Y方向(40m)</p> <p>N308°E</p> </div> </div>																																					
<p>5)フーリエスペクトル比(地下1階/地表面)と原田式の比較（基礎根入れ：$\omega_n=28.1\text{rad}$）</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="212 1659 775 2051">  <p>NMW Input Motion 218-B1FW/GL</p> <p>X方向(40m)</p> </div> <div data-bbox="842 1659 1377 2051">  <p>NMW Input Motion 308-B1FW/GL</p> <p>Y方向(40m)</p> </div> </div>																																					

表 4.2-2 建築物 ANX

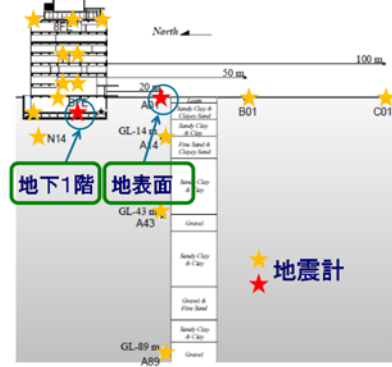
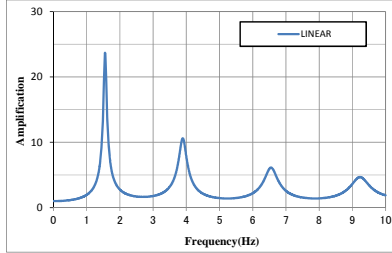
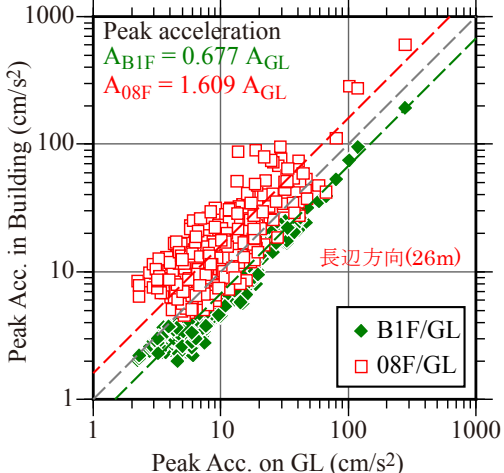
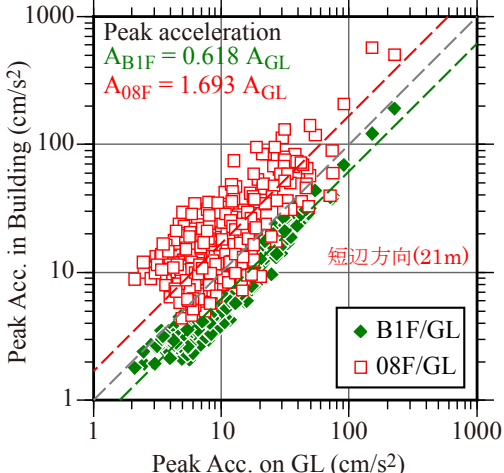
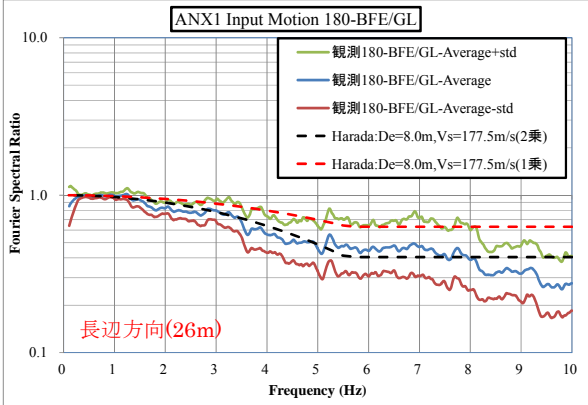
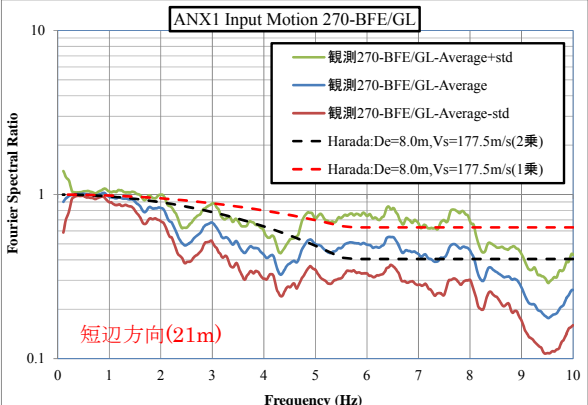
<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：ANX</p> <p>所在地：茨城県つくば市</p> <p>構造・階数：鉄骨鉄筋コンクリート造、地上 8 階、地下 1 階</p> <p>基礎：直接基礎、基礎根入れ深さ 8 m</p> <p>建築面積： m²、延床面積：約 5,000m²</p> <p>建築物高さ：34.6 m</p>	 <p>建築物・地盤断面と地震計位置</p>																												
<p>2)地盤概要</p> <table border="1" data-bbox="151 678 734 936"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.0</td> <td>ローム</td> <td>110</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>6.0</td> <td>粘土</td> <td>200</td> <td>1.3</td> </tr> <tr> <td>6.0</td> <td>粘土</td> <td>160</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>8.0</td> <td>細砂</td> <td>260</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>6.0</td> <td>粘土</td> <td>200</td> <td>1.75</td> </tr> <tr> <td>14.0</td> <td>粘土 砂礫</td> <td>270 460</td> <td>1.75 1.9</td> </tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)	2.0	ローム	110	1.3	6.0	粘土	200	1.3	6.0	粘土	160	1.5	8.0	細砂	260	1.8	6.0	粘土	200	1.75	14.0	粘土 砂礫	270 460	1.75 1.9	 <p>工学的基礎に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)																										
2.0	ローム	110	1.3																										
6.0	粘土	200	1.3																										
6.0	粘土	160	1.5																										
8.0	細砂	260	1.8																										
6.0	粘土	200	1.75																										
14.0	粘土 砂礫	270 460	1.75 1.9																										
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=8.0m (等価 Vs：177.5m/s)</p>	<p>杭の効果を考慮した等価深さ：なし</p>																												
<p>4)地表面と地下1階の最大加速度の関係 ($A_{B1F}=0.68A_{GL}$, $A_{B1F}=0.62A_{GL}$)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="236 1115 742 1585">  <p>Peak acceleration $A_{B1F} = 0.677 A_{GL}$ $A_{O8F} = 1.609 A_{GL}$</p> <p>長辺方向(26m)</p> </div> <div data-bbox="858 1115 1364 1585">  <p>Peak acceleration $A_{B1F} = 0.618 A_{GL}$ $A_{O8F} = 1.693 A_{GL}$</p> <p>短辺方向(21m)</p> </div> </div>																													
<p>5)フーリエスペクトル比(地下1階/地表面)と原田式の比較(基礎根入れ: $\omega_n=34.9\text{rad}$)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="177 1653 767 2056">  <p>ANX1 Input Motion 180-BFE/GL</p> <p>長辺方向(26m)</p> </div> <div data-bbox="826 1653 1417 2056">  <p>ANX1 Input Motion 270-BFE/GL</p> <p>短辺方向(21m)</p> </div> </div>																													

表 4.2-3 NIT


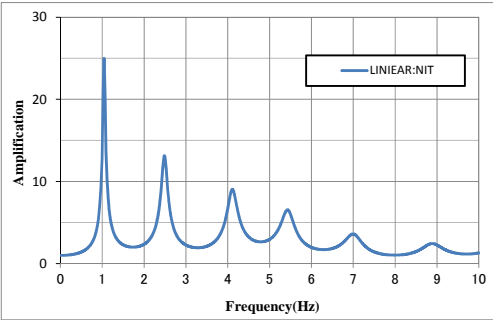
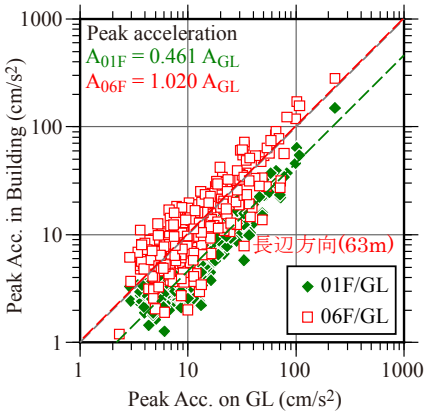
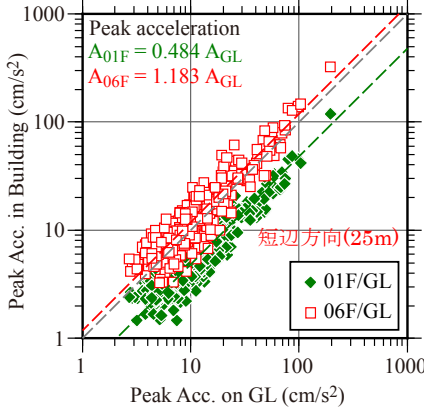
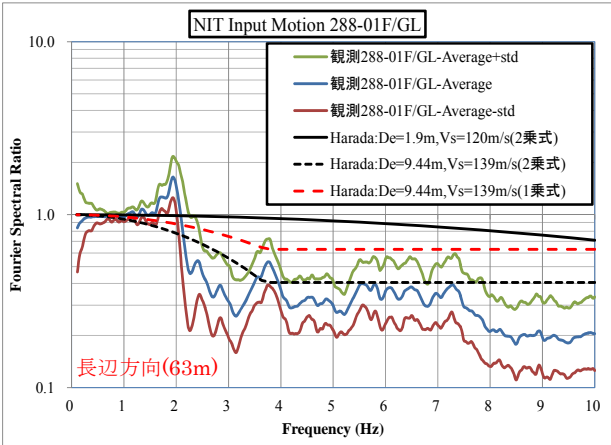
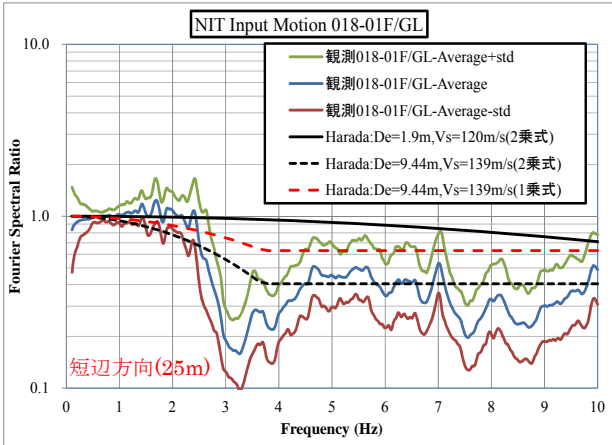
<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：NIT</p> <p>所在地：埼玉県南埼玉郡宮代町</p> <p>構造・階数：鉄筋コンクリート造、地上6階、地下なし</p> <p>基礎：杭基礎、杭径φ1300、80本、基礎根入れ深さ1.9m</p> <p>建築面積：1,727m²、延床面積：約8,598m²</p> <p>建築物高さ：30m</p>	 <p style="text-align: center;">建築物概要</p>																																								
<p>2)地盤概要</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>5.8</td><td>粘性土</td><td>120</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>粘性土</td><td>140</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>5.5</td><td>粘性土</td><td>230</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>6.2</td><td>粘性土</td><td>170</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>4.6</td><td>粘性土</td><td>250</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>4.4</td><td>粘性土</td><td>240</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>15.1</td><td>粘性土</td><td>270</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>20.7</td><td>砂質土</td><td>300</td><td>1.9</td></tr> <tr><td></td><td>砂質土</td><td>380</td><td>2.0</td></tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)	5.8	粘性土	120	1.5	2.5	粘性土	140	1.6	5.5	粘性土	230	1.7	6.2	粘性土	170	1.8	4.6	粘性土	250	1.8	4.4	粘性土	240	1.8	15.1	粘性土	270	1.8	20.7	砂質土	300	1.9		砂質土	380	2.0	 <p style="text-align: center;">工学的基礎に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)																																						
5.8	粘性土	120	1.5																																						
2.5	粘性土	140	1.6																																						
5.5	粘性土	230	1.7																																						
6.2	粘性土	170	1.8																																						
4.6	粘性土	250	1.8																																						
4.4	粘性土	240	1.8																																						
15.1	粘性土	270	1.8																																						
20.7	砂質土	300	1.9																																						
	砂質土	380	2.0																																						
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=1.9m（等価Vs：120m/s）</p>	<p>杭の効果を検討した等価深さ： Df'=9.44m（等価Vs：139m/s）</p>																																								
<p>4)地表面と地下1階の最大加速度の関係（$A_{B1F}=0.46A_{GL}$, $A_{B1F}=0.48A_{GL}$）</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="295 1126 719 1541">  <p style="text-align: center;">長辺方向(63m)</p> </div> <div data-bbox="874 1126 1299 1541">  <p style="text-align: center;">短辺方向(25m)</p> </div> </div>																																									
<p>5)フーリエスペクトル比(1階/地表面)と原田式の比較(基礎根入れ: $\omega_n=99.2\text{rad}$, 杭考慮: $\omega_n=23.1\text{rad}$)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="164 1608 778 2051">  <p style="text-align: center;">長辺方向(63m)</p> </div> <div data-bbox="807 1608 1422 2051">  <p style="text-align: center;">短辺方向(25m)</p> </div> </div>																																									

表 4.2-4 建築物 HCN2


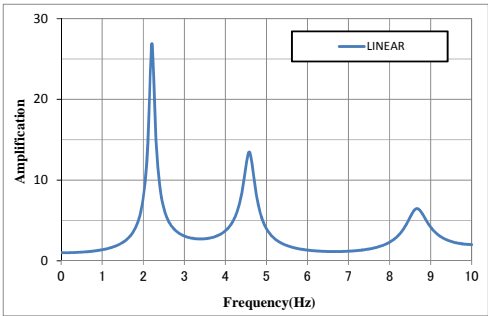
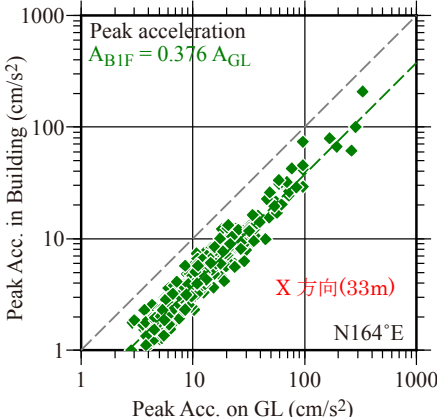
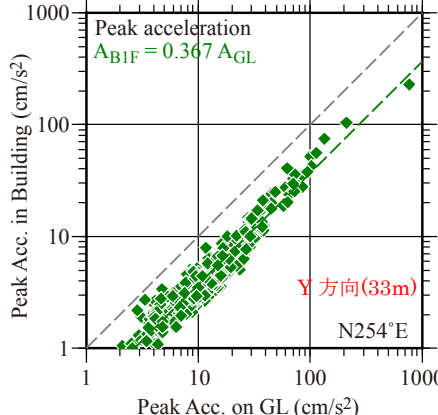
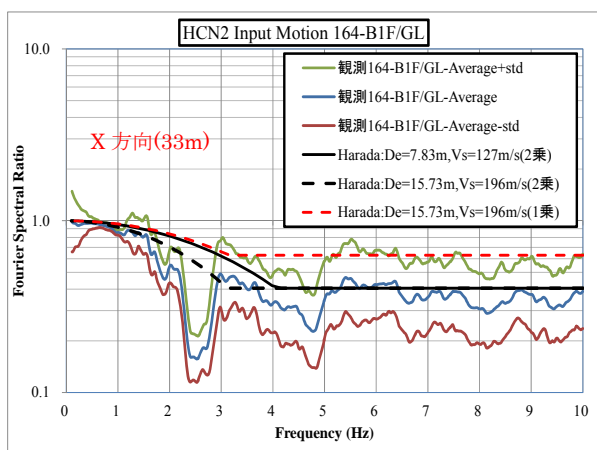
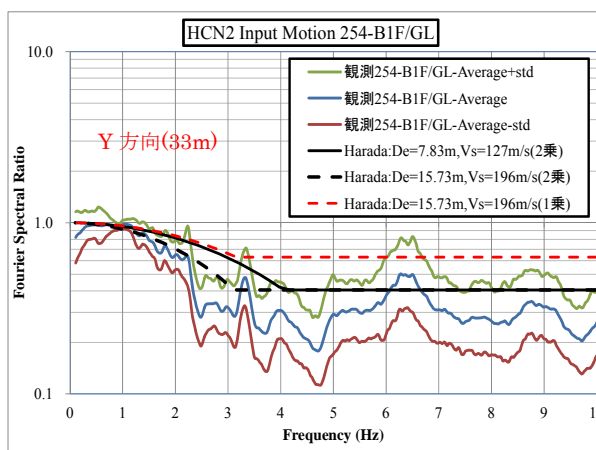
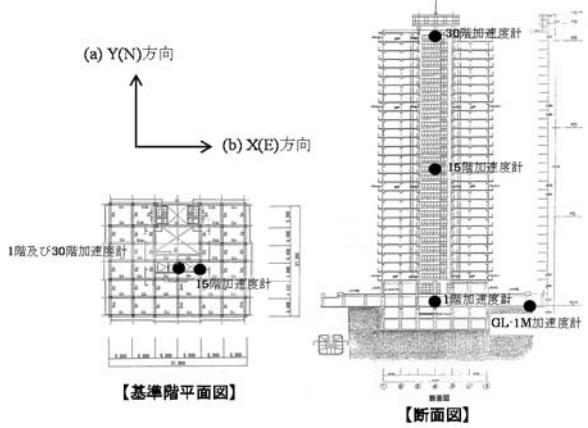
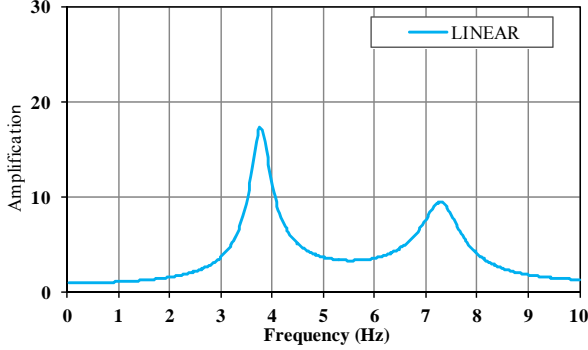
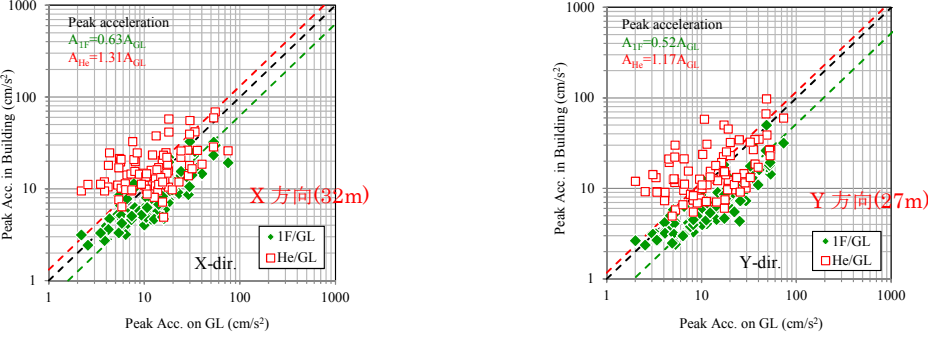
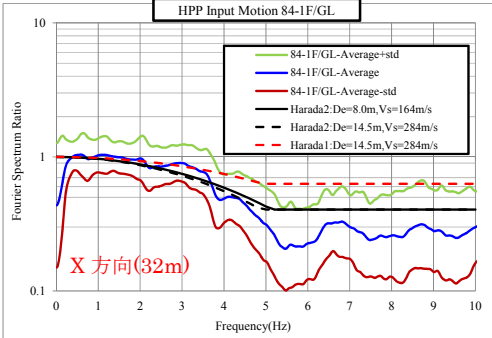
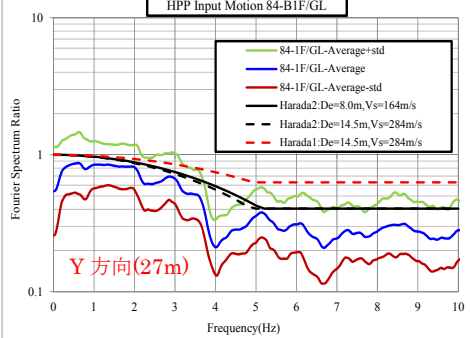
<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：HCN2</p> <p>所在地：八戸市</p> <p>構造・階数：免震構造、SRC造、地上10階、地下1階</p> <p>基礎：杭基礎、杭径φ2,400：14本、Φ1,600：33本、Φ1,300：18（合計55本）、基礎根入れ深さ7.83m</p> <p>建築面積： 延床面積：</p> <p>建築物高さ：49.8m</p>	 <p>建築物概要</p>																																				
<p>2)地盤概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.2</td> <td>粘性土</td> <td>111-140</td> <td>1.45</td> </tr> <tr> <td>5.4</td> <td>砂質土</td> <td>240-390</td> <td>1.7-2.0</td> </tr> <tr> <td>2.85</td> <td>粘性土</td> <td>240</td> <td>1.71</td> </tr> <tr> <td>1.15</td> <td>砂質土</td> <td>320</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>5.0</td> <td>粘性土</td> <td>270</td> <td>1.66</td> </tr> <tr> <td>4.7</td> <td>粘性土</td> <td>290</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>1.6</td> <td>砂質土</td> <td>370</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td></td> <td>砂礫</td> <td>790</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)	10.2	粘性土	111-140	1.45	5.4	砂質土	240-390	1.7-2.0	2.85	粘性土	240	1.71	1.15	砂質土	320	1.9	5.0	粘性土	270	1.66	4.7	粘性土	290	1.7	1.6	砂質土	370	1.9		砂礫	790	2.0	 <p>工学的基礎に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)																																		
10.2	粘性土	111-140	1.45																																		
5.4	砂質土	240-390	1.7-2.0																																		
2.85	粘性土	240	1.71																																		
1.15	砂質土	320	1.9																																		
5.0	粘性土	270	1.66																																		
4.7	粘性土	290	1.7																																		
1.6	砂質土	370	1.9																																		
	砂礫	790	2.0																																		
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=7.83m（等価Vs：127m/s）</p>	<p>杭の効果を検討した等価深さ： Df'=15.73m（等価Vs：196m/s）</p>																																				
<p>4)地表面と地下1階の最大加速度の関係（$A_{B1F}=0.38A_{GL}$, $A_{B1F}=0.37A_{GL}$）</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="279 1120 718 1534">  </div> <div data-bbox="877 1120 1316 1534">  </div> </div>																																					
<p>5)フーリエスペクトル比(1階/地表面)と原田式の比較(基礎根入れ: $\omega_n=25.5\text{rad}$, 杭考慮: 19.6rad)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="167 1601 766 2049">  </div> <div data-bbox="805 1601 1404 2049">  </div> </div>																																					

表 4.2-5 建築物 S01

<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：S01</p> <p>所在地：東京都港区台場</p> <p>構造・階数：鉄筋コンクリート造、 地上33階、地下1階</p> <p>基礎：杭基礎、φ2000、45本、基礎根入れ深さ6.0m</p> <p>建築面積：2,381 m²、延床面積：36,999 m²</p> <p>建築物高さ：104.6 m</p>	<p>建築物断面と地震計位置</p>																												
<p>2)地盤概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10.1</td> <td>埋土</td> <td>100</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>12.6</td> <td>砂混じりシルト</td> <td>180</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>2.2</td> <td>シルト</td> <td>240</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>1.3</td> <td>砂礫</td> <td>440</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>11.6</td> <td>細砂</td> <td>350</td> <td>1.84</td> </tr> <tr> <td></td> <td>細砂</td> <td>410</td> <td>1.84</td> </tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)	10.1	埋土	100	1.6	12.6	砂混じりシルト	180	1.8	2.2	シルト	240	1.6	1.3	砂礫	440	2.0	11.6	細砂	350	1.84		細砂	410	1.84	<p>工学的基礎に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)																										
10.1	埋土	100	1.6																										
12.6	砂混じりシルト	180	1.8																										
2.2	シルト	240	1.6																										
1.3	砂礫	440	2.0																										
11.6	細砂	350	1.84																										
	細砂	410	1.84																										
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=6.0m (等価Vs：100m/s)</p>	<p>杭の効果も含めた等価深さ： Df=16.2m (等価Vs：130m/s)</p>																												
<p>4)地表面と1階の最大加速度の関係 (A_{1F}=0.53A_{GL}, A_{1F}=0.46A_{GL})</p>																													
<p>Peak acceleration A_{1F}=0.53A_{GL} A_{1He}=1.06A_{GL}</p> <p>X方向(35m)</p> <p>◆ 1F/GL □ He/GL</p>	<p>Peak acceleration A_{1F}=0.46A_{GL} A_{1He}=0.89A_{GL}</p> <p>Y方向(35m)</p> <p>◆ 1F/GL □ He/GL</p>																												
<p>5)フーリエスペクトル比(1階/地表面)と原田式の比較(基礎根入れ:ω_n=26.2rad,杭考慮:12.6rad)</p>																													
<p>フーリエスペクトル比</p> <p>X方向(35m)</p>	<p>フーリエスペクトル比</p> <p>Y方向(35m)</p>																												

表 4.2-6 建築物 HPP

<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：HPP</p> <p>所在地：東京都練馬区光が丘2丁目10-1</p> <p>構造・階数：鉄筋コンクリート造（X方向：ラーメン構造、Y方向：ラーメン構造）、地上30階、地下1階、塔屋1階</p> <p>基礎：場所打RC杭、杭径φ2000、46本、杭径φ1600、3本、基礎根入れ深さ8m</p> <p>建築面積：896.58 m²、延床面積：25,079.72 m²</p> <p>軒高：88.35m</p>	 <p>建築物平面,断面と地震計位置</p>																																																
<p>2)地盤概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3.0</td><td>ローム</td><td>114</td><td>1.60</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>ローム</td><td>168</td><td>1.60</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>粘土</td><td>168</td><td>1.60</td></tr> <tr><td>9.8</td><td>砂礫</td><td>430</td><td>1.95</td></tr> <tr><td>6.0</td><td>礫混り粘土</td><td>360</td><td>1.80</td></tr> <tr><td>6.4</td><td>砂礫</td><td>595</td><td>2.00</td></tr> <tr><td>6.7</td><td>細砂</td><td>480</td><td>1.85</td></tr> <tr><td>3.9</td><td>砂礫</td><td>590</td><td>2.00</td></tr> <tr><td>11.5</td><td>粘土</td><td>460</td><td>1.85</td></tr> <tr><td>4.1</td><td>砂礫</td><td>600</td><td>2.10</td></tr> <tr><td></td><td>粘土</td><td>500</td><td>1.80</td></tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)	3.0	ローム	114	1.60	2.5	ローム	168	1.60	2.0	粘土	168	1.60	9.8	砂礫	430	1.95	6.0	礫混り粘土	360	1.80	6.4	砂礫	595	2.00	6.7	細砂	480	1.85	3.9	砂礫	590	2.00	11.5	粘土	460	1.85	4.1	砂礫	600	2.10		粘土	500	1.80	 <p>工学的基盤に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)																																														
3.0	ローム	114	1.60																																														
2.5	ローム	168	1.60																																														
2.0	粘土	168	1.60																																														
9.8	砂礫	430	1.95																																														
6.0	礫混り粘土	360	1.80																																														
6.4	砂礫	595	2.00																																														
6.7	細砂	480	1.85																																														
3.9	砂礫	590	2.00																																														
11.5	粘土	460	1.85																																														
4.1	砂礫	600	2.10																																														
	粘土	500	1.80																																														
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=8.0m（等価Vs：164m/s）</p>	<p>杭の効果を検討した等価深さ：Df'=14.5m（等価Vs：284m/s）</p>																																																
<p>4)地表面と1階の最大加速度の関係（$A_{1F}=0.63A_{GL}$, $A_{1F}=0.52A_{GL}$）</p> 																																																	
<p>5)フーリエスペクトル比(1階/地表面)と原田式の結果(基礎根入れ: $\omega_n=32.2\text{rad}$, 杭考慮: 30.8rad)</p>																																																	
																																																	

4.2-7 建築物 TSU

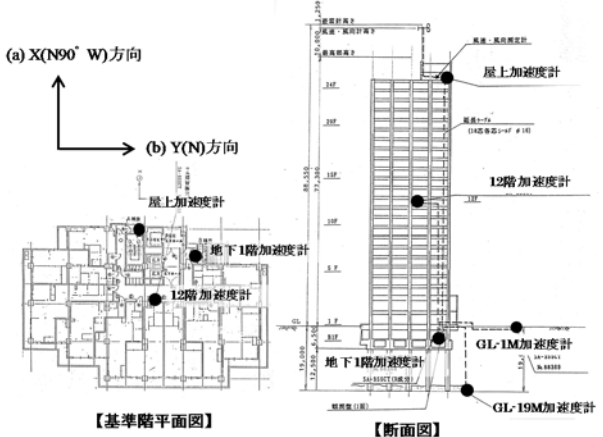
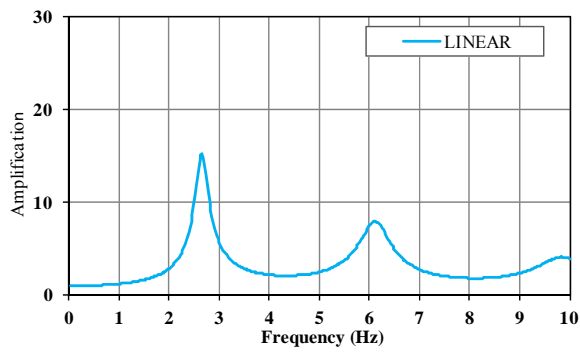
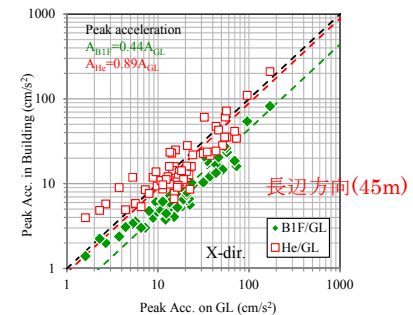
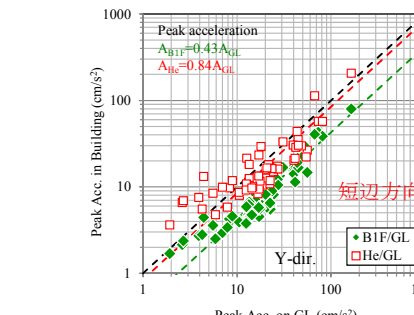
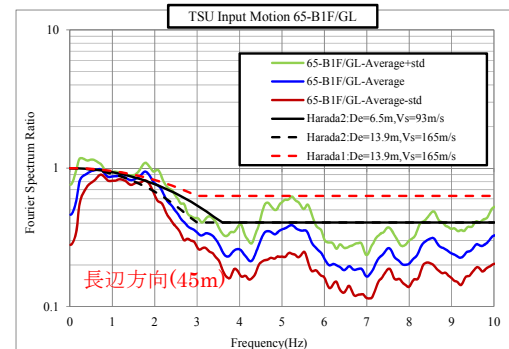
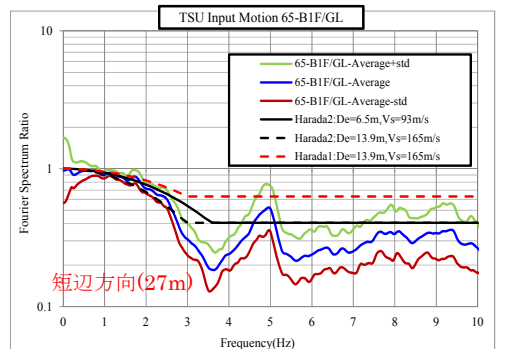
<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：TSU</p> <p>所在地：東京都港区芝浦四丁目13番</p> <p>構造・階数：鉄筋コンクリート造（X方向：ラーメン構造、Y方向：ラーメン構造）、地上24階、地下1階、塔屋2階</p> <p>基礎：場所打RC杭、杭径φ1500、36本、杭径φ1500、36本、杭径φ1100、15本、根入れ深さ6.5m</p> <p>建築面積:1363.65 m²、延床面積:18,490.72 m²</p> <p>軒高さ：72.55m</p>	 <p>建築物・地盤断面と地震計位置</p>																																
<p>2)地盤概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>種別</th> <th>S波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5.1</td> <td>盛土/埋土</td> <td>85</td> <td>1.75</td> </tr> <tr> <td>3.0</td> <td>砂混りシルト</td> <td>121</td> <td>1.65</td> </tr> <tr> <td>7.4</td> <td>シルト</td> <td>257</td> <td>1.83</td> </tr> <tr> <td>1.8</td> <td>シルト質粘土</td> <td>232</td> <td>1.68</td> </tr> <tr> <td>5.5</td> <td>砂礫</td> <td>490</td> <td>2.03</td> </tr> <tr> <td>3.1</td> <td>砂/砂礫</td> <td>540</td> <td>1.99</td> </tr> <tr> <td></td> <td>泥岩</td> <td>545</td> <td>1.82</td> </tr> </tbody> </table>	層厚(m)	種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)	5.1	盛土/埋土	85	1.75	3.0	砂混りシルト	121	1.65	7.4	シルト	257	1.83	1.8	シルト質粘土	232	1.68	5.5	砂礫	490	2.03	3.1	砂/砂礫	540	1.99		泥岩	545	1.82	 <p>工学的基盤に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)																														
5.1	盛土/埋土	85	1.75																														
3.0	砂混りシルト	121	1.65																														
7.4	シルト	257	1.83																														
1.8	シルト質粘土	232	1.68																														
5.5	砂礫	490	2.03																														
3.1	砂/砂礫	540	1.99																														
	泥岩	545	1.82																														
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=6.5m（等価Vs：93m/s）</p>	<p>杭の効果を考慮した等価深さ：Df'=13.9m（等価Vs：165m/s）</p>																																
<p>4)地表面と地下1階の最大加速度の関係 ($A_{B1F}=0.44A_{GL}$, $A_{B1F}=0.43A_{GL}$)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="319 1299 734 1612">  <p>長辺方向(45m)</p> </div> <div data-bbox="861 1299 1276 1612">  <p>短辺方向(27m)</p> </div> </div>																																	
<p>5)フーリエスペクトル比(地下1階/地表面)と原田式の結果(基礎根入れ: $\omega_n=22.5\text{rad}$, 杭考慮: 18.6rad)</p>																																	
 <p>長辺方向(45m)</p>	 <p>短辺方向(27m)</p>																																

表 4.2-8 建築物 URM

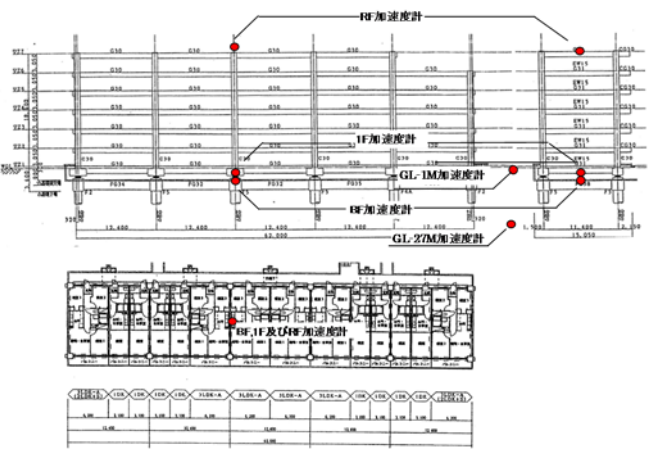
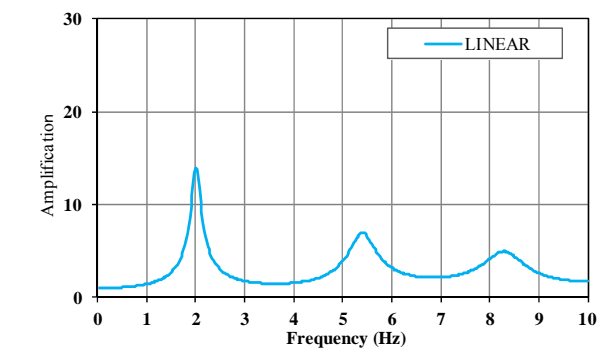
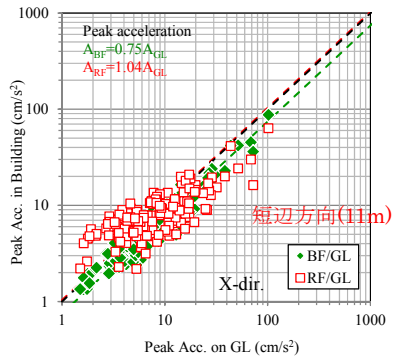
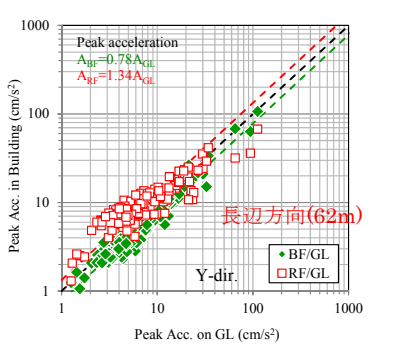
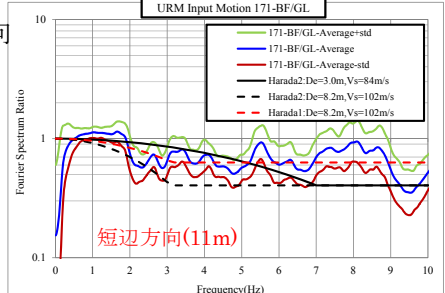
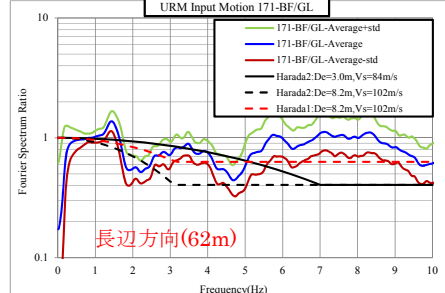
<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：URM</p> <p>所在地：神奈川県川崎市中原区木月住吉町 1764</p> <p>構造・階数：鉄筋コンクリート造+免震（X 方向：連層耐力壁、Y 方向：ラーメン、プレストレス）、地上 6 階、地下なし</p> <p>基礎：場所打 RC 杭、杭径φ1000、5 本、杭径φ1300、5 本、杭径φ1400、3 本、基礎根入れ深さ 3m</p> <p>建築面積：852.13 m²、延床面積：4,135.98 m²</p> <p>軒高さ：18.60m</p>	 <p>建築物・地盤断面と地震計位置</p>																																																
<p>2)地盤概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S 波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.0</td><td>盛土</td><td>84</td><td>1.52</td></tr> <tr><td>1.7</td><td>シルト混り砂</td><td>125</td><td>1.79</td></tr> <tr><td>1.3</td><td>砂</td><td>108</td><td>1.95</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>礫混り砂</td><td>182</td><td>2.01</td></tr> <tr><td>11.9</td><td>シルト混り砂</td><td>194</td><td>1.88</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>シルト混り砂</td><td>206</td><td>1.86</td></tr> <tr><td>2.6</td><td>砂混りシルト</td><td>256</td><td>1.85</td></tr> <tr><td>1.6</td><td>砂礫</td><td>300</td><td>2.20</td></tr> <tr><td>0.7</td><td>玉石混り砂</td><td>543</td><td>2.10</td></tr> <tr><td>9.7</td><td>砂礫</td><td>348</td><td>2.23</td></tr> <tr><td></td><td>粘土</td><td>439</td><td>1.95</td></tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S 波速度(m/s)	密度(t/m ³)	2.0	盛土	84	1.52	1.7	シルト混り砂	125	1.79	1.3	砂	108	1.95	3.0	礫混り砂	182	2.01	11.9	シルト混り砂	194	1.88	3.0	シルト混り砂	206	1.86	2.6	砂混りシルト	256	1.85	1.6	砂礫	300	2.20	0.7	玉石混り砂	543	2.10	9.7	砂礫	348	2.23		粘土	439	1.95	 <p>工学的基礎に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S 波速度(m/s)	密度(t/m ³)																																														
2.0	盛土	84	1.52																																														
1.7	シルト混り砂	125	1.79																																														
1.3	砂	108	1.95																																														
3.0	礫混り砂	182	2.01																																														
11.9	シルト混り砂	194	1.88																																														
3.0	シルト混り砂	206	1.86																																														
2.6	砂混りシルト	256	1.85																																														
1.6	砂礫	300	2.20																																														
0.7	玉石混り砂	543	2.10																																														
9.7	砂礫	348	2.23																																														
	粘土	439	1.95																																														
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=3.0m（等価 Vs：84m/s）</p>	<p>杭の効果を考慮した等価深さ：Df'=8.2m（等価 Vs：102m/s）</p>																																																
<p>4)地表面と免震下部階の最大加速度の関係（$A_{BF}=0.75A_{GL}$, $A_{RF}=0.78A_{GL}$）</p>																																																	
 <p>短辺方向(11m)</p>	 <p>長辺方向(62m)</p>																																																
<p>5)フーリエスペクトル比(免震下部/地表面)と原田式の結果(基礎根入れ: $\omega_n=44.0\text{rad}$, 杭考慮: 19.5rad)</p>																																																	
<p>(a) X方向</p>  <p>短辺方向(11m)</p>	<p>(b) Y方向</p>  <p>長辺方向(62m)</p>																																																

表 4.2-9 建築物 HMB

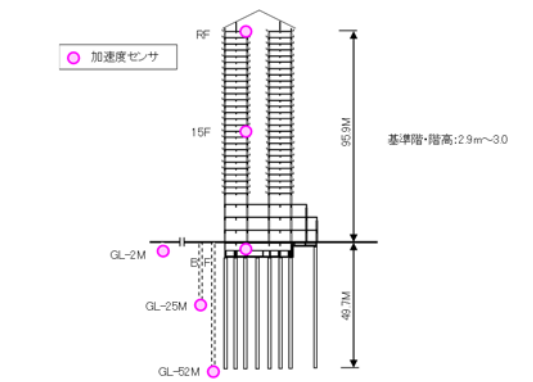
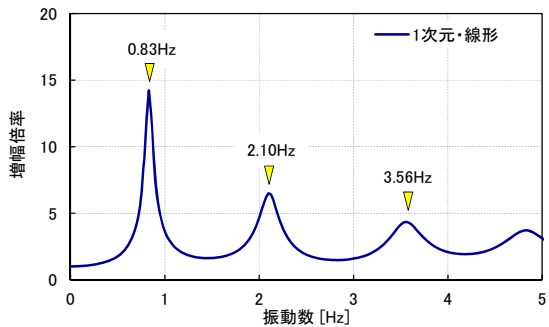
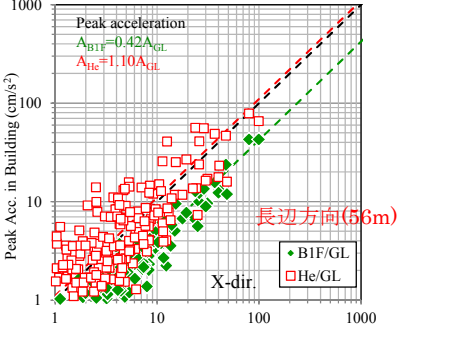
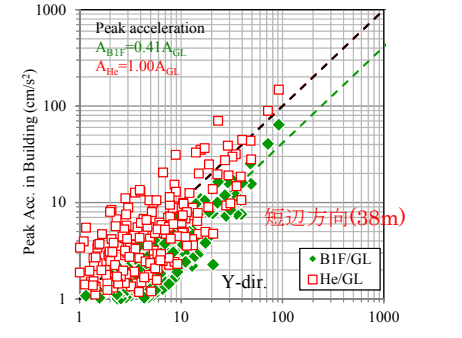
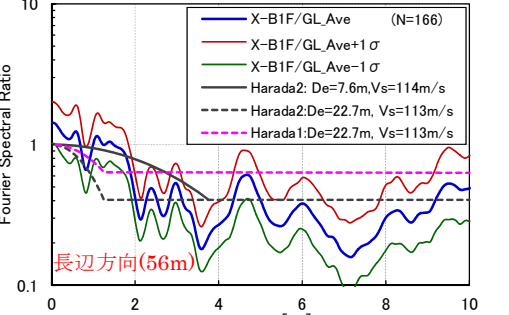
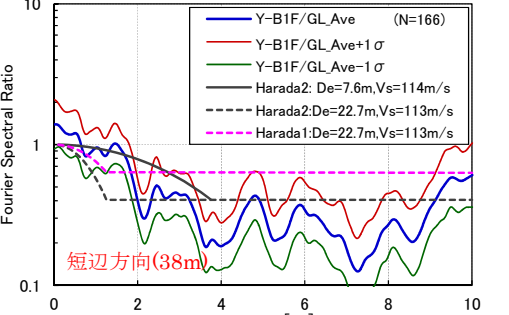
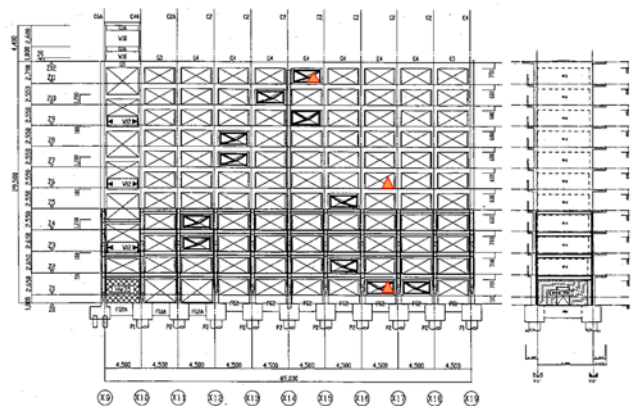
<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：HMB</p> <p>所在地：埼玉県草加市松原</p> <p>構造・階数：鉄筋コンクリート造、地上 30 階、地下 1 階</p> <p>基礎：杭基礎（杭径 2.6M, 2.8M 拡底あり）、基礎根入れ深さ 7.6m</p> <p>建築面積：2,362 m²、延床面積：36,730 m²</p> <p>建築物高さ：96.6m</p>	 <p>建築物断面と地震計位置</p>																																																								
<p>2)地盤概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.5</td><td>盛土、砂質粘土</td><td>95</td><td>1.55</td></tr> <tr><td>3.4</td><td>細砂</td><td>120</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>砂混じりシルト</td><td>130</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>6.3</td><td>砂混じりシルト</td><td>110</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>6.8</td><td>シルト</td><td>110</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>7.0</td><td>シルト</td><td>140</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>6.4</td><td>シルト</td><td>200</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>6.6</td><td>砂質シルト</td><td>210</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>1.1</td><td>腐植土</td><td>210</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>3.7</td><td>細砂、シル質細砂</td><td>310</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>7.1</td><td>細砂</td><td>350</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>7.3</td><td>シル質細砂、細砂</td><td>320</td><td>1.85</td></tr> <tr><td></td><td>細砂</td><td>370</td><td>1.9</td></tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)	2.5	盛土、砂質粘土	95	1.55	3.4	細砂	120	1.9	3.0	砂混じりシルト	130	1.7	6.3	砂混じりシルト	110	1.5	6.8	シルト	110	1.5	7.0	シルト	140	1.7	6.4	シルト	200	1.7	6.6	砂質シルト	210	1.6	1.1	腐植土	210	1.8	3.7	細砂、シル質細砂	310	1.8	7.1	細砂	350	1.9	7.3	シル質細砂、細砂	320	1.85		細砂	370	1.9	 <p>工学的基盤に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)																																																						
2.5	盛土、砂質粘土	95	1.55																																																						
3.4	細砂	120	1.9																																																						
3.0	砂混じりシルト	130	1.7																																																						
6.3	砂混じりシルト	110	1.5																																																						
6.8	シルト	110	1.5																																																						
7.0	シルト	140	1.7																																																						
6.4	シルト	200	1.7																																																						
6.6	砂質シルト	210	1.6																																																						
1.1	腐植土	210	1.8																																																						
3.7	細砂、シル質細砂	310	1.8																																																						
7.1	細砂	350	1.9																																																						
7.3	シル質細砂、細砂	320	1.85																																																						
	細砂	370	1.9																																																						
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df = 7.6m（等価 Vs：114m/s）</p>	<p>杭の効果も含めた等価深さ： Df' = 22.7m（等価 Vs：113m/s）</p>																																																								
<p>4)地表面と地下1階の最大加速度の関係 ($A_{B1F}=0.42A_{GL}$, $A_{B1F}=0.41A_{GL}$)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="287 1276 766 1635">  <p>長辺方向(56m)</p> </div> <div data-bbox="829 1276 1308 1635">  <p>短辺方向(38m)</p> </div> </div>																																																									
<p>5)フーリエスペクトル比(地下1階/地表面)と原田式の結果(基礎根入れ: $\omega_n=23.6\text{rad}$, 杭考慮: 7.82rad)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="239 1724 766 2060">  <p>長辺方向(56m)</p> </div> <div data-bbox="798 1724 1324 2060">  <p>短辺方向(38m)</p> </div> </div>																																																									

表 4.2-10 建築物 NRK

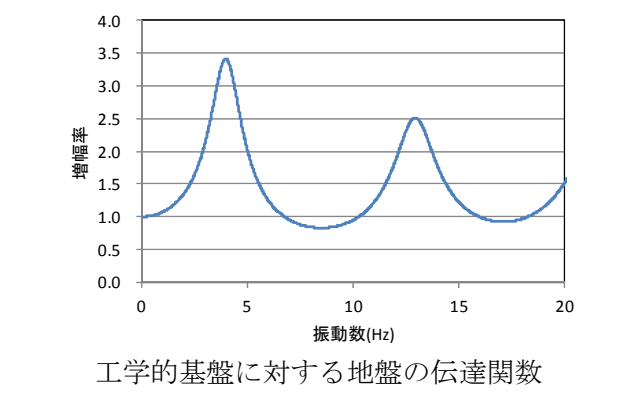
1)建築物概要
 建築物名称：NRK
 所在地：神奈川県横浜市青葉区奈良町 2913 番地
 構造・階数：地上 11 階（5 階床梁まで SRC 造，5 階柱以上 RC 造）
 基礎：杭基礎（場所打 RC 杭＋既製杭）
 場所打 RC 杭 杭径 φ1400（20 本），既製杭 杭径 φ500（14 本）
 杭長 6.95～12m、基礎根入れ深さ 1.5m
 建築面積：449 m²、延床面積：4,653 m²
 建築物高さ：29.5 m



建築物断面と地震計位置 (▲地震計)

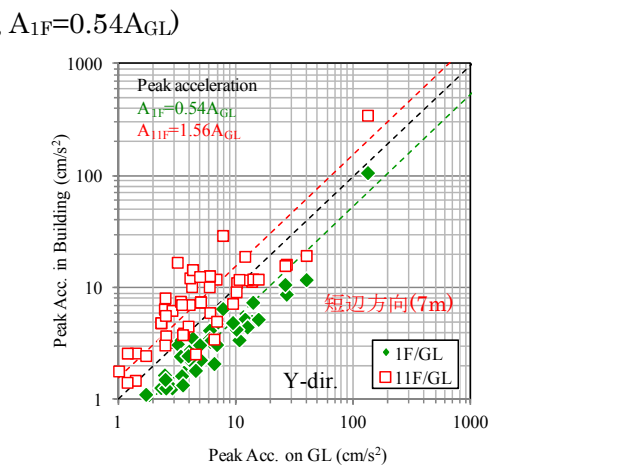
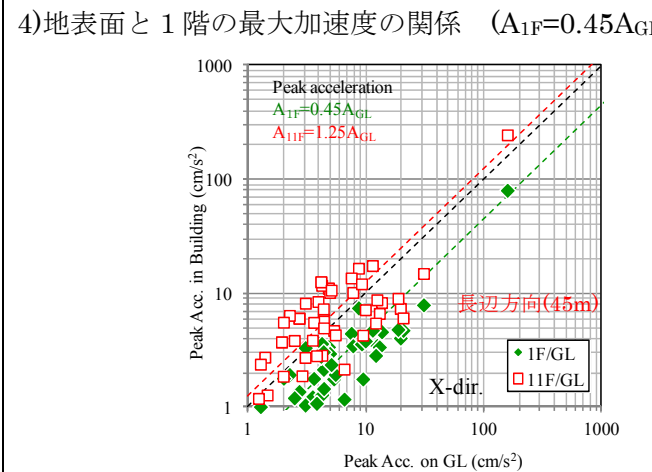
2)地盤概要

層厚	地盤種別	S 波速度 (m/s)	密度 (t/m ³)
2.8	埋土	160	1.6
1.9	埋土	160	1.6
1.75	埋土	140	1.6
2.15	粘性土シルト	140	1.5
0.9	シルト混じり砂礫	250	1.8
	工学的基盤	510	1.9



3)原田式の適用
 基礎根入れ深さ：Df=9.5m（等価 Vs：160m/s）

杭の効果も含めた等価深さ：
 Df=16.1m（等価 Vs：304m/s）



5)フーリエスペクトル比(1 階／地表面)と原田式の結果(基礎根入れ: $\omega_n=26.5\text{rad}$, 杭考慮: 29.7rad)

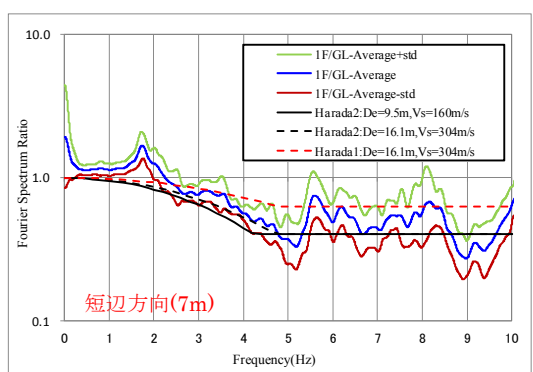
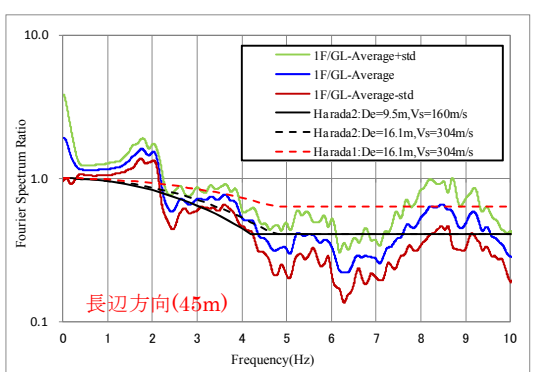


表 4.2-11 建築物 UTM


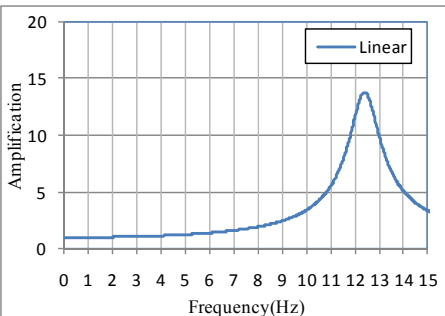
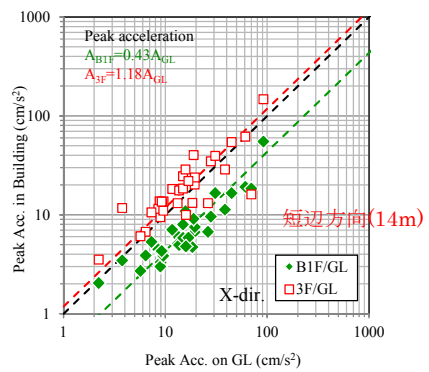
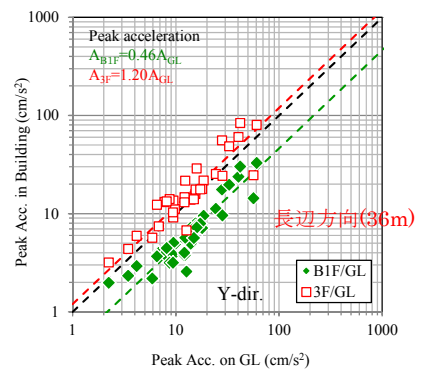
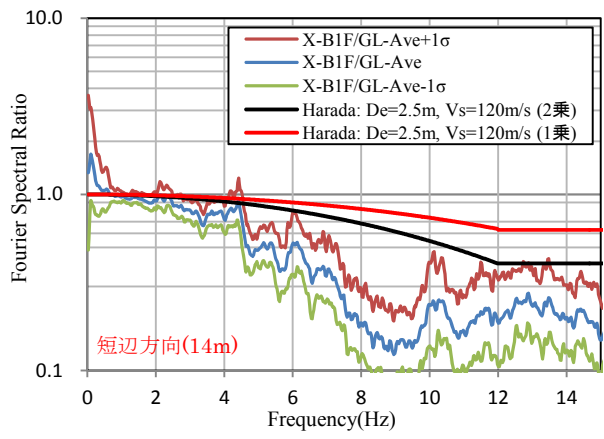
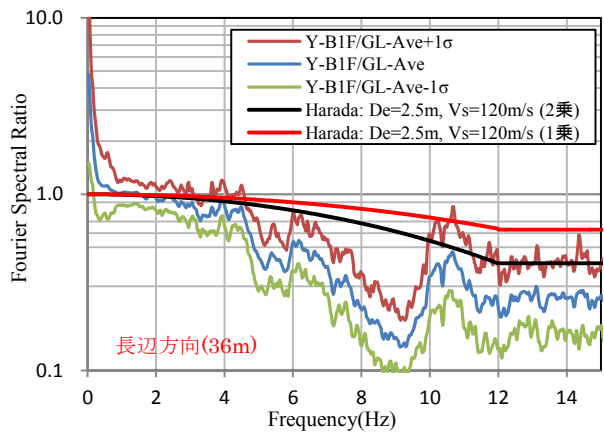
<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：UTM</p> <p>所在地：栃木県宇都宮市</p> <p>構造・階数：鉄筋コンクリート造（1998年に免震構造に改修）、地上3階、地下1階</p> <p>基礎：直接基礎、基礎根入れ深さ2.98m</p> <p>建築面積：887.53 m²、延床面積：1625.93 m²</p> <p>建築物高さ：15.5m</p>	 <p>地震計位置</p>																
<p>2)地盤概要</p> <table border="1" data-bbox="151 683 734 862"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.0</td> <td>埋土</td> <td>75</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>1.5</td> <td>ローム礫</td> <td>150</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td></td> <td>礫</td> <td>430</td> <td>4.5</td> </tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)	1.0	埋土	75	1.9	1.5	ローム礫	150	1.5		礫	430	4.5	 <p>工学的基盤に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)														
1.0	埋土	75	1.9														
1.5	ローム礫	150	1.5														
	礫	430	4.5														
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=2.50m（等価Vs：120m/s）</p>	<p>注）根入れ深さは2.98.mであるが、礫層に埋め込まれた部分0.48mは無視して原田式を適用</p>																
<p>4)地表面と1階の最大加速度の関係（$A_{B1F}=0.43A_{GL}$, $A_{3F}=1.18A_{GL}$）</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="311 1164 742 1534">  </div> <div data-bbox="869 1164 1300 1534">  </div> </div>																	
<p>5)フーリエスペクトル比(地下1階/地表面)と原田式の結果(基礎根入れ: $\omega_n=75.4\text{rad}$)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="159 1612 766 2049">  </div> <div data-bbox="805 1612 1412 2049">  </div> </div>																	

表 4.2-12 建築物 EDG

<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：EDG</p> <p>所在地：千葉県野田市</p> <p>構造・階数：鉄筋コンクリート造、地上3階</p> <p>基礎：PHC杭(13m)、φ500(88本)、基礎根入れ深さ1.5m</p> <p>建築面積：1,587m²、延床面積4,354m²</p> <p>建築物高さ：14.3m</p>	<p>建築物断面と地震計位置</p>																																
<p>2)地盤概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.7</td> <td>埋土</td> <td>97</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>2.6</td> <td>ローム</td> <td>104</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>4.6</td> <td>シルト</td> <td>142</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>2.45</td> <td>細砂</td> <td>224</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>4.55</td> <td>細砂</td> <td>329</td> <td>1.9</td> </tr> <tr> <td>25.84</td> <td>細砂</td> <td>209-290</td> <td>1.5-1.9</td> </tr> <tr> <td></td> <td>細砂</td> <td>439</td> <td>2.0</td> </tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)	2.7	埋土	97	1.5	2.6	ローム	104	1.5	4.6	シルト	142	1.9	2.45	細砂	224	1.7	4.55	細砂	329	1.9	25.84	細砂	209-290	1.5-1.9		細砂	439	2.0	<p>工学的基盤に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)																														
2.7	埋土	97	1.5																														
2.6	ローム	104	1.5																														
4.6	シルト	142	1.9																														
2.45	細砂	224	1.7																														
4.55	細砂	329	1.9																														
25.84	細砂	209-290	1.5-1.9																														
	細砂	439	2.0																														
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=1.50m (等価Vs：97m/s)</p>	<p>杭の効果も含めた等価深さ：</p> <p>Df'=5.29m (等価Vs：101m/s)</p>																																
<p>4)地表面と1階の最大加速度の関係 (A_{1F}=0.60A_{GL}, A_{1F}=0.50A_{GL})</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="287 1164 718 1523"> <p>Peak acceleration A_{1F}=0.60A_{GL} A_{3F}=0.86A_{GL}</p> <p>長辺方向(23m)</p> <p>X-dir.</p> </div> <div data-bbox="877 1164 1308 1523"> <p>Peak acceleration A_{1F}=0.50A_{GL} A_{3F}=1.56A_{GL}</p> <p>短辺方向(18m)</p> <p>Y-dir.</p> </div> </div>																																	
<p>5)フーリエスペクトル比(1階/地表面)と原田式の結果(基礎根入れ:ω_n=101.6rad,杭考慮:30.0rad)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="159 1612 766 2038"> <p>長辺方向(23m)</p> </div> <div data-bbox="798 1612 1404 2038"> <p>短辺方向(18m)</p> </div> </div>																																	

表 4. 2-13 建築物 TKS

<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：TKS</p> <p>所在地：千葉県千葉市</p> <p>構造・階数：壁式鉄筋コンクリート造、地上5階</p> <p>基礎：PC杭(20m)、φ300(128本)、基礎根入れ深さ1.0m</p> <p>建築面積：529.5m²、延床面積：2,647.7m²</p> <p>建築物高さ：14.03m</p>	<p>地震計位置</p>																																
<p>2)地盤概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3.0</td> <td>シルト</td> <td>80-110</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>4.7</td> <td>細砂</td> <td>150</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>7.65</td> <td>細砂</td> <td>190-230</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>7.9</td> <td>細砂</td> <td>270-390</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>2.55</td> <td>シルト</td> <td>270</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>6.9</td> <td>細砂</td> <td>380</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>細砂</td> <td>540</td> <td>1.8</td> </tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)	3.0	シルト	80-110	1.6	4.7	細砂	150	1.8	7.65	細砂	190-230	1.8	7.9	細砂	270-390	1.8	2.55	シルト	270	1.7	6.9	細砂	380	1.8		細砂	540	1.8	<p>工学的基礎に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)																														
3.0	シルト	80-110	1.6																														
4.7	細砂	150	1.8																														
7.65	細砂	190-230	1.8																														
7.9	細砂	270-390	1.8																														
2.55	シルト	270	1.7																														
6.9	細砂	380	1.8																														
	細砂	540	1.8																														
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=1.0m (等価Vs：110m/s)</p>	<p>杭の効果も含めた等価深さ：</p> <p>Df'=3.5m (等価Vs：101m/s)</p>																																
<p>4)地表面と1階の最大加速度の関係 (A_{1F}=1.04A_{GL}, A_{1F}=0.99A_{GL})</p>																																	
<p>短辺方向(7m)</p> <p>X-dir.</p> <p>◆ 1F/GL</p> <p>□ 5F/GL</p>	<p>長辺方向(66m)</p> <p>Y-dir.</p> <p>◆ 1F/GL</p> <p>□ 5F/GL</p>																																
<p>5)フーリエスペクトル比(1階/地表面)と原田式の結果(基礎根入れ:ω_n=175.1rad,杭考慮:45.3rad)</p>																																	
<p>短辺方向(7m)</p>	<p>長辺方向(66m)</p>																																

表 4.2-14 建築物 OHJ

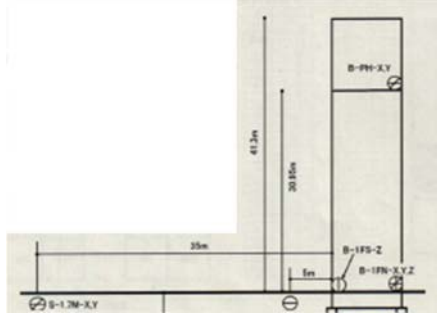
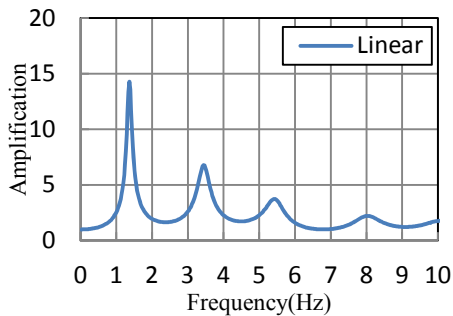
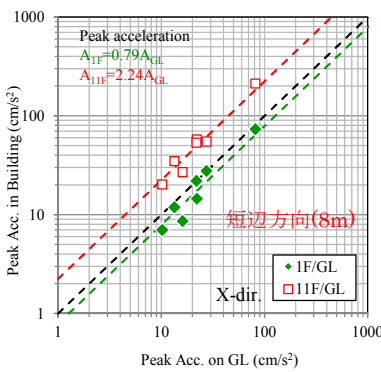
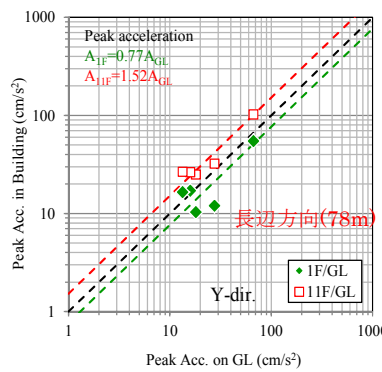
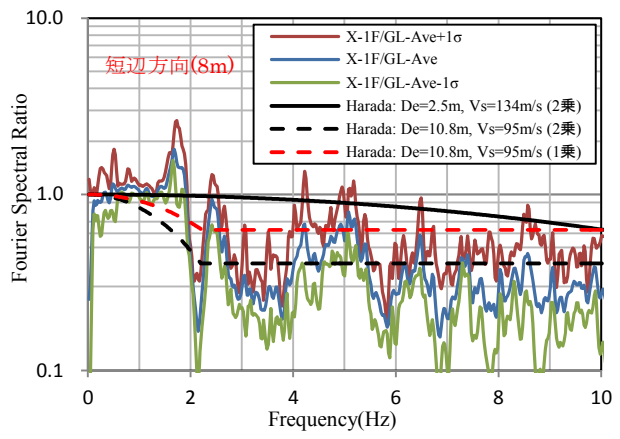
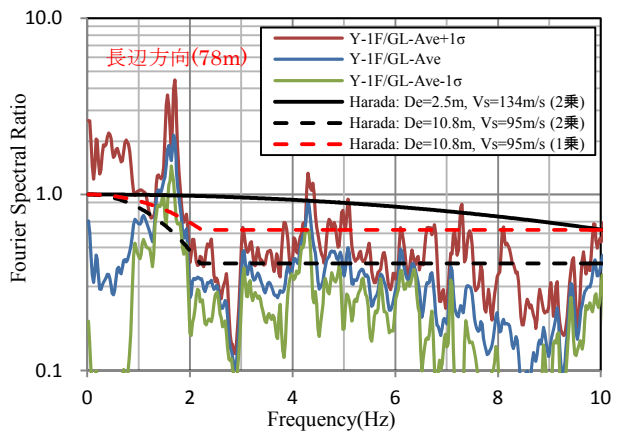
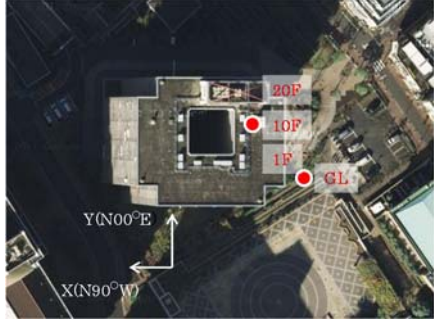
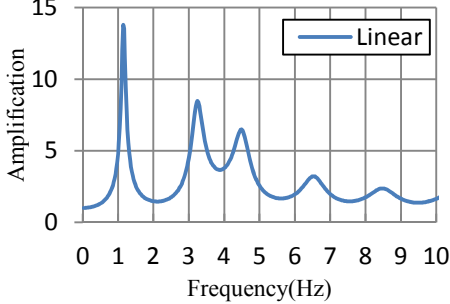
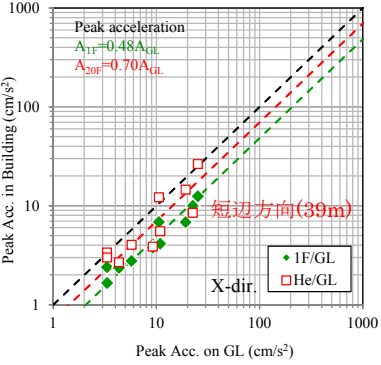
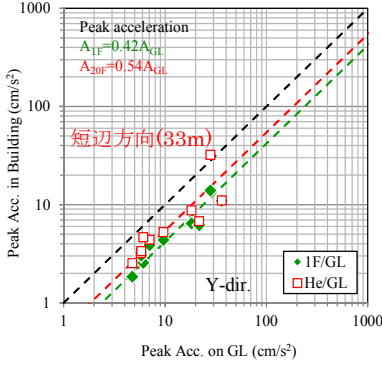
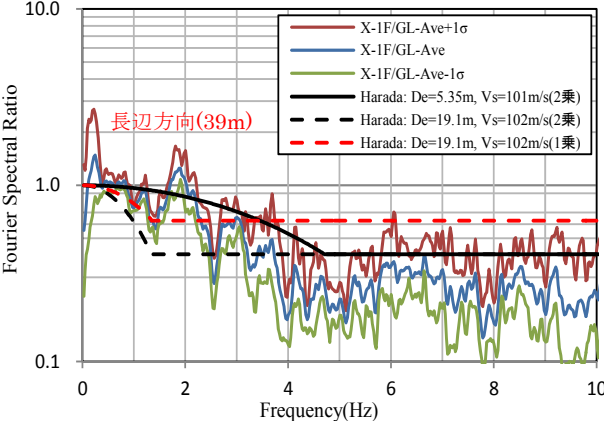
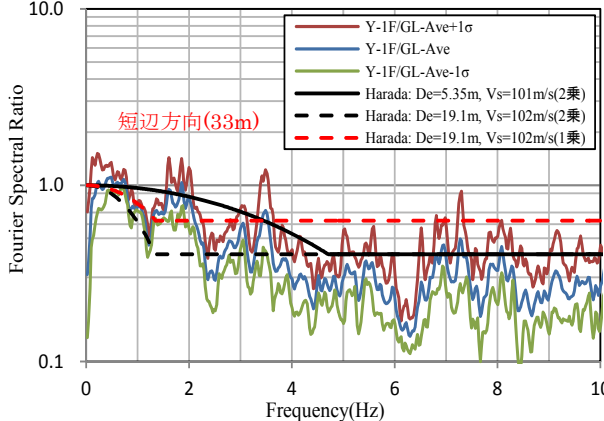
<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：OHJ</p> <p>所在地：東京都北区</p> <p>構造・階数：鉄筋コンクリート造、地上11階</p> <p>基礎：場所打ちコンクリート杭(22m)、φ1500(16本)、φ1500(16本)、φ900(2本)、基礎根入れ深さ2.45m</p> <p>建築面積：651.3m²、延床面積：7815.6m²</p> <p>建築物高さ：41.2m</p>	 <p>建築物断面と地震計位置</p>																																
<p>2)地盤概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2.0</td> <td>埋土</td> <td>150</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>3.5</td> <td>ローム</td> <td>65</td> <td>1.45</td> </tr> <tr> <td>3.5</td> <td>細砂</td> <td>95</td> <td>1.5</td> </tr> <tr> <td>4.0</td> <td>砂礫</td> <td>90</td> <td>1.55</td> </tr> <tr> <td>5.0</td> <td>粘土</td> <td>135</td> <td>1.6</td> </tr> <tr> <td>7.0</td> <td>砂質粘土</td> <td>230</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td></td> <td>砂礫</td> <td>500</td> <td>1.9</td> </tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)	2.0	埋土	150	1.6	3.5	ローム	65	1.45	3.5	細砂	95	1.5	4.0	砂礫	90	1.55	5.0	粘土	135	1.6	7.0	砂質粘土	230	1.7		砂礫	500	1.9	 <p>工学的基盤に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S波速度(m/s)	密度(t/m ³)																														
2.0	埋土	150	1.6																														
3.5	ローム	65	1.45																														
3.5	細砂	95	1.5																														
4.0	砂礫	90	1.55																														
5.0	粘土	135	1.6																														
7.0	砂質粘土	230	1.7																														
	砂礫	500	1.9																														
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=2.45m（等価Vs：134m/s）</p>	<p>杭の効果も含めた等価深さ：Df'=10.76m（等価Vs：94.67m/s）</p>																																
<p>4)地表面と1階の最大加速度の関係 (A_{1F}=0.79A_{GL}, A_{1F}=0.77A_{GL})</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="311 1164 694 1534">  <p>短辺方向(8m)</p> </div> <div data-bbox="885 1164 1268 1534">  <p>長辺方向(78m)</p> </div> </div>																																	
<p>5)フーリエスペクトル比(1階/地表面)と原田式の結果(基礎根入れ:ω_n=84.2rad,杭考慮:13.8rad)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="151 1612 774 2049">  <p>短辺方向(8m)</p> </div> <div data-bbox="798 1612 1420 2049">  <p>長辺方向(78m)</p> </div> </div>																																	

表 4.2-15 建築物 UKM

<p>1)建築物概要</p> <p>建築物名称：UKM</p> <p>所在地：東京都北区</p> <p>構造・階数：鉄筋コンクリート造地上 20 階</p> <p>基礎：場所打ち鋼管コンクリート杭(34.05m)、φ2000(56本)、基礎根入れ深さ 5.35m</p> <p>建築面積：1,549 m²、延床面積：18,975.2 m²</p> <p>建築物高さ：59.9m</p>	 <p>建築物断面と地震計位置</p>																																
<p>2)地盤概要</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>層厚(m)</th> <th>地盤種別</th> <th>S 波速度(m/s)</th> <th>密度(t/m³)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>18.8</td> <td>シルト</td> <td>90-145</td> <td>1.5-1.75</td> </tr> <tr> <td>5.2</td> <td>礫</td> <td>254</td> <td>1.75-2.00</td> </tr> <tr> <td>2.8</td> <td>礫</td> <td>420</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>1.2</td> <td>シルト</td> <td>310</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>3.6</td> <td>礫</td> <td>570</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>6.4</td> <td>シルト</td> <td>337</td> <td>1.8-1.9</td> </tr> <tr> <td></td> <td>細砂</td> <td>520</td> <td>1.9</td> </tr> </tbody> </table>	層厚(m)	地盤種別	S 波速度(m/s)	密度(t/m ³)	18.8	シルト	90-145	1.5-1.75	5.2	礫	254	1.75-2.00	2.8	礫	420	2.0	1.2	シルト	310	1.8	3.6	礫	570	2.0	6.4	シルト	337	1.8-1.9		細砂	520	1.9	 <p>工学的基礎に対する地盤の伝達関数</p>
層厚(m)	地盤種別	S 波速度(m/s)	密度(t/m ³)																														
18.8	シルト	90-145	1.5-1.75																														
5.2	礫	254	1.75-2.00																														
2.8	礫	420	2.0																														
1.2	シルト	310	1.8																														
3.6	礫	570	2.0																														
6.4	シルト	337	1.8-1.9																														
	細砂	520	1.9																														
<p>3)原田式の適用</p> <p>基礎根入れ深さ：Df=5.35m (等価 V_s : 101m/s)</p>	<p>杭の効果も含めた等価深さ： Df'=19.08m (等価 V_s : 102m/s)</p>																																
<p>4)地表面と 1 階の最大加速度の関係 (A_{1F}=0.48A_{GL}, A_{1F}=0.42A_{GL})</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="316 1173 699 1536">  </div> <div data-bbox="890 1173 1273 1536">  </div> </div>																																	
<p>5)フーリエスペクトル比(1 階/地表面)と原田式の結果(基礎根入れ:ω_n=29.7rad,杭考慮:8.39rad)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="159 1621 766 2040">  </div> <div data-bbox="813 1621 1420 2040">  </div> </div>																																	

4.2.2 地震記録との対応について

(1) 直接基礎における検討（地下1階程度の根入れあり）

図 4.2-1 に、地表面に対する建物1階（または地下階）のフーリエスペクトル比（地震観測結果）と原田式の対応を、図 4.2-2 に最大加速度の関係を示す。建築物 ANX におけるフーリエスペクトル比の平均値と原田式の結果は良く対応しているが、建築物 NMW では、地震観測結果の方が小さい結果となった。

原田式は、 $\omega_n = Vs/(2D_f)$ で求められることから、建物1階（または地下階）／地表面の最大加速度比と ω_n の関係に着目して検討する。 ω_n は、基礎根入れ深さ (D_f) とその深さでの地盤の S 波速度 (V_s) で求められる表層地盤の1次の卓越円振動数に対応する。 ω_n を 2π で割ると、卓越振動数 (f_n) となるが、 f_n は、建築物 NMW で 4.47Hz、建築物 ANX では 5.5Hz となり、建築物 NMW の方が入力地震動の低減がやや大きくなる。この2つの建築物における値の差は、基礎の根入れ深さはほぼ同じ (7.83m と 8.0m) であるが、周辺地盤の平均 V_s (140m/s、178m/s) が異なることが原因となっている。図 4.2-2 に示した最大加速度の比においては、建築物 NMW では、0.36、建築物 ANX では、0.68 となり、 f_n が小さい場合には、加速度比も小さくなることを確認できる。

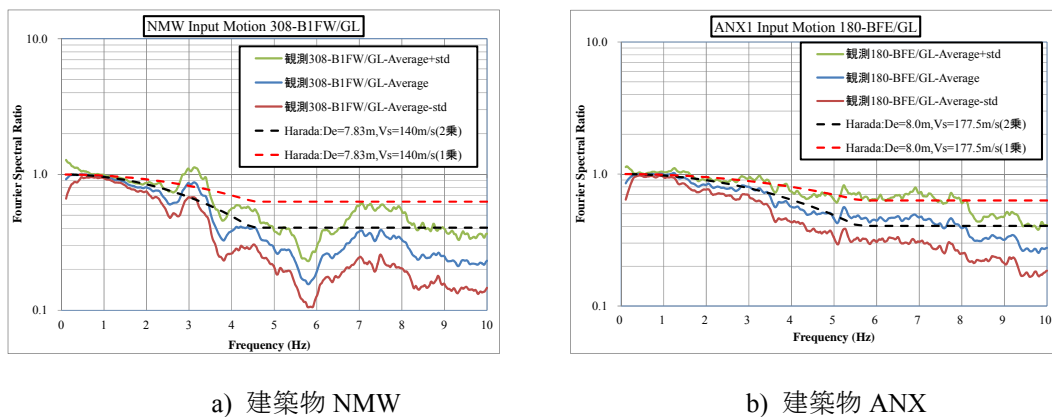


図 4.2-1 地表面に対する地下1階のフーリエスペクトル比と原田式

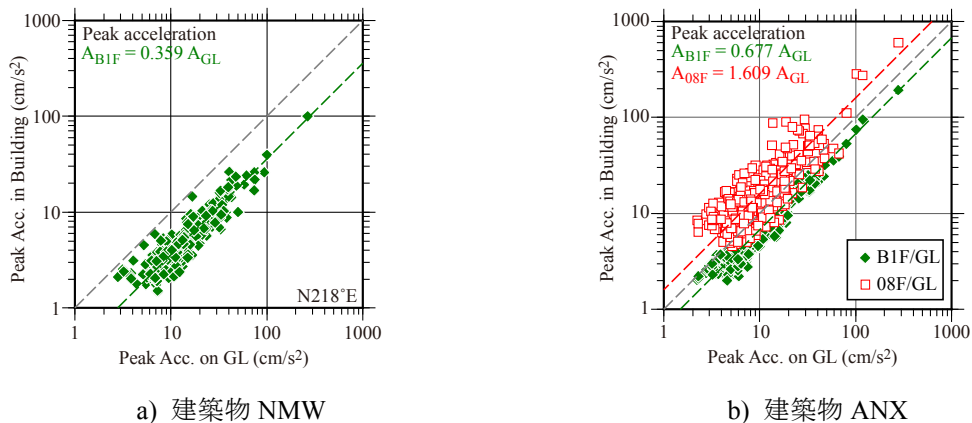


図 4.2-2 地表面に対する地下1階の最大加速度の関係

(2) 杭基礎における検討（地下階の無い中低層建築物）

杭基礎の場合には、基礎の根入れ効果に杭の効果を加えた根入れ深さ式（4.5）を用いて検討する。2棟の建築物(建築物 EDG と建築物 NIT)における、地表面に対する建物1階のフーリエスペクトル比（地震観測結果）と原田式の結果を図 4.2-3 に、1階と地表面と最大加速度の比を、図 4.2-4 に示す。建築物 NIT におけるフーリエスペクトル比の平均値と原田式の結果は良い対応を示しており、根入れ深さが小さい建築物の場合、杭の効果を考えると、基礎入力動の特性をうまく説明することができる。

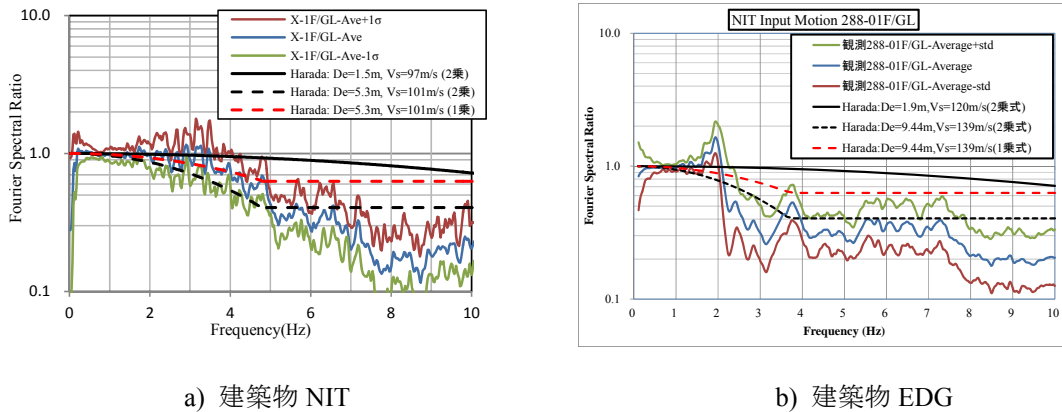


図 4.2-3 地表面に対する1階のフーリエスペクトル比と原田式（杭基礎・中低層）

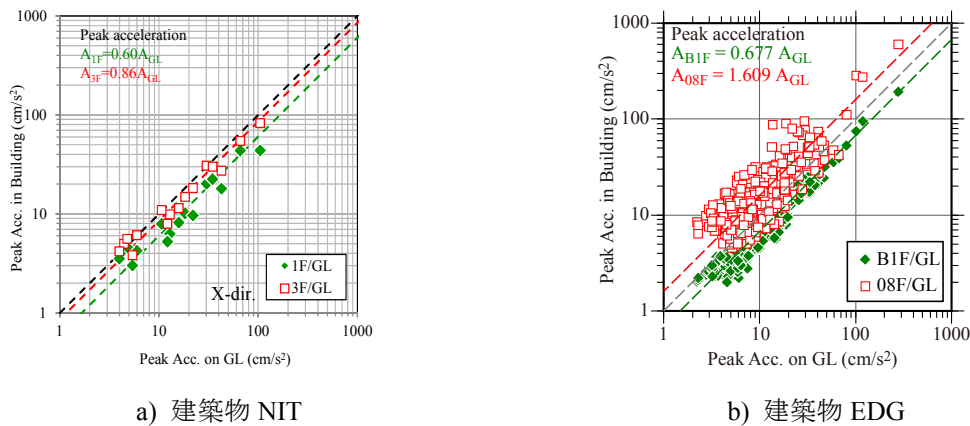
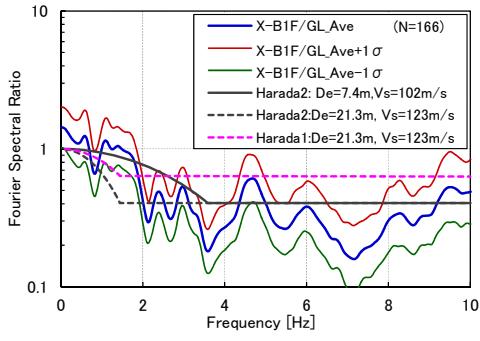


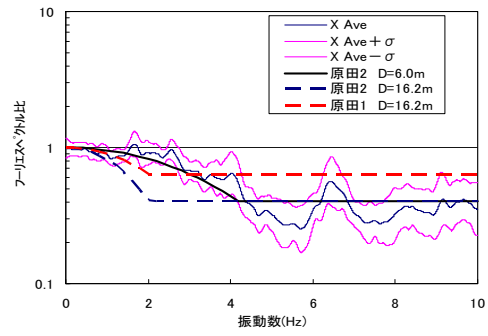
図 4.2-4 地表面に対する地下1階の最大加速度の関係（杭基礎・中低層）

(3) 杭基礎における検討（高層建築物、主に地下階あり）

図 4.2-5 に、地表面に対する建物1階のフーリエスペクトル比（地震観測結果）と原田式の対応に関する2棟(建築物 HMB と建築物 SO1)の結果を、図 4.2-6 に最大加速度の関係を示す。建築物 HMB 及び建築物 SO1 とともに、杭の効果を考慮しない基礎根入れ深さにおける原田式との対応が良く、杭を考慮した場合には、原田式の値は、振動数が低い範囲で危険側の評価となる。

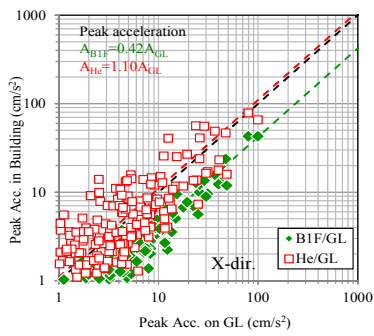


a) 建築物 HMB

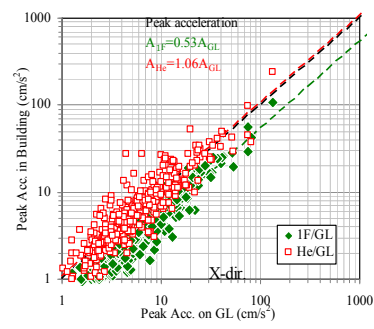


b) 建築物 SO1

図 4.2-5 地表面に対する 1 階のフーリエスペクトル比と原田提案式（高層）



a) 建築物 HMB



b) 建築物 SO1

図 4.2-6 地表面に対する地下 1 階の最大加速度の関係（高層）

4.3 基礎構造の根入れ深さと表層地盤の1・2次卓越振動数での変位分布に基づく方法

4.3.1 限界耐力計算における方法と改良法の概要

限界耐力計算では、表層地盤の増幅率 G_S を用いて基礎の埋め込み(埋め込み深さ D_e)による入力損失効果を考慮している。図 4.3-1 に、限界耐力計算での考え方の概要を示す。

図においては、基礎の埋め込み部分(地下部分)周囲での地盤が単純にモデル化されており、当該部分は底面水平地盤ばね(K_{hb})と側面水平地盤ばね(K_{he})で支持されている。また、表層地盤内の増幅率分布は、表層地盤の1次振動モードに基づくとしてこれを直線分布と見なし、下部境界(工学的基礎と表層地盤下部との境界)位置での増幅率は $G_B=1$ と仮定している。

基礎入力動は、底面及び側面水平地盤ばねが取りついている位置における自由地盤の地震時水平変位を各水平地盤ばねで重み付け平均したものとして評価される⁴⁾。

ここで地盤変位の代わりに増幅率を用いると、基礎入力動の増幅率 G_F は次式で評価される。

$$G_F = \frac{K_{hb} \cdot G(D_e) + K_{he} \cdot G_S}{K_{hb} + K_{he}} \quad (4.6)$$

また、地下部分の埋め込みによる低減率 β' は、地表面増幅率 G_S に対する基礎入力動の増幅率の比と定義すると、

$$\beta' = \frac{K_{hb} \cdot G(D_e) + K_{he} \cdot G_S}{K_{hb} + K_{he}} \cdot \frac{1}{G_S} \quad (4.7)$$

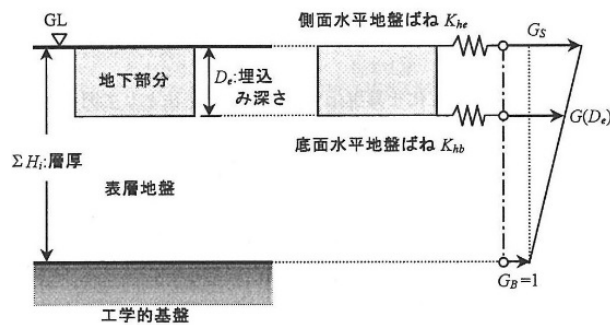


図 4.3-1 表層地盤における基礎根入れ深さ、地盤増幅係数等

一般に、入力は、表層地盤の1次卓越周期よりは2次卓越周期付近の方が小さくなるため、1次固有モードしか考慮していない現行の基準は入力損失効果を過少評価していることになる。そのため、文献5)では、2次固有モードに対応する入力損失効果を取り込めるよう、低減率 β' の計算の改良方法が提案されている。

改良方法は、図 4.3-2 に示される考え方による。表層地盤の1次固有モード及び2次固有モードの変位分布を想定し、1次卓越周期及び2次卓越周期におけるそれぞれの低減率 β' を次式により求める。

$$\beta'(T_i) = \frac{K_{hb} \cdot G_{si}(De) + K_{he} \cdot G_{si}(De/2)}{K_{hb} + K_{he}} \cdot \frac{1}{G_{si}} \quad (4.8)$$

式中の添え字 i はモード次数を表す。

なお、図 4.3-2 では、2 次固有モードの変位分布が新たに評価されているほか、図 4.3-1 と比較すれば明らかな通り、変位分布は直線分布から固有モード形に見直しされており、また、下部境界位置での増幅率 G_s も 1 ではなく、解放工学的基盤に対する工学的基盤の増幅率として評価されている⁵⁾。

式(4.8)により表層地盤の 1 次と 2 次卓越周期の 2 点で低減係数が求まるが、さらに、文献 5) では、これら 2 点を含む周波数領域全域での低減係数 β' を評価する関数を図 4.3-3 のように定義している。なお、図 4.3-3 では、文献 6) で提案されている関数も併記している。

以下に検討においては、1 次及び 2 次の低減係数 β' を式(4.8)により求め、これを内挿又は外挿するのに、文献 6) による関数を用いている。式(4.8)とこの関数の組合せを、以下では、「三浦・関式」と呼ぶことにする。

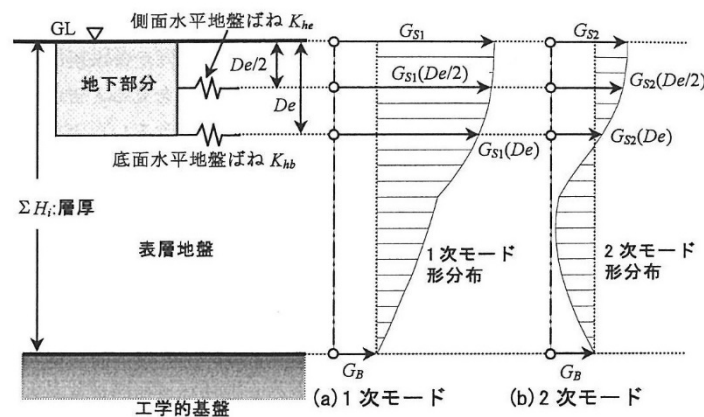


図 4.3-2 表層地盤の 1 次・2 次変位分布と基礎各位置における地盤増幅係数

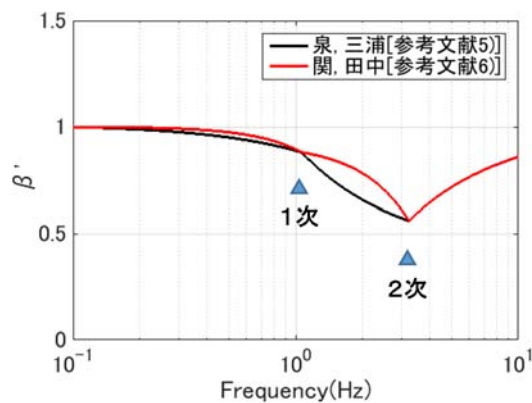


図 4.3-3 周波数領域全体における低減率 β'

4.3.2 建築物への基礎入力動に関する検討

三浦・関式による基礎入力動の評価結果に関する具体例を示す。本計算では、表層地盤の 1 次と 2 次の卓越周期については、固有値解析結果を用いるとともに、地盤増幅係数 G_s については、各周期の変位モードを用いて算定している。

(1) 直接基礎における検討（地下1階程度の根入れあり）

図 4.3-4 に、地表面に対する建物1階（または地下階）のフーリエスペクトル比（地震観測結果）と三浦・関式の対応（建築物 ANX）を示す。評価式 A は参考として掲げるもので、2次卓越振動数以上の振動数において、2次卓越振動数における値で一定値とした結果である。2次卓越振動数までは、三浦・関式は観測結果と良い対応を示す。また、評価式 A では、2次卓越振動数以降も観測結果と良い対応を示している。

三浦・関式は、現行の限界耐力計算では、2次卓越振動数又は2次卓越周期付近での入力損失効果を過少評価(建築物への地震入力を過大評価)しているため、これを改良することを目的としたものであるが、図 4.3-4 の結果は簡易評価式が地震入力に関する観測結果を妥当(2次卓越周期以降は安全側)に評価していることを示すものである。これにより、根入れを有する直接基礎に対しては、三浦・関式の妥当性が、地震観測の結果によっても確かめられたと言える。

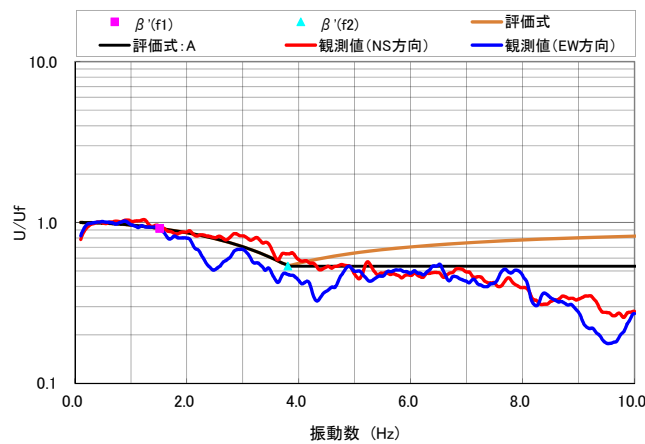


図 4.3-4 地表面に対する地下1階のフーリエスペクトル比と三浦・関式（建築物 ANX）

（1次・2次卓越振動数：1.52、3.81Hz）

(2) 杭基礎における検討（地下階の無い中低層建築物）

図 4.3-5 に、地表面に対する建物1階（または地下階）のフーリエスペクトル比（地震観測結果）と三浦・関式の対応（建築物 NIT）を示す。図 4.3-5 は、基礎根入れ深さについては、実際の値を用いた結果に「杭無視」の凡例を、式 (4.5) により基礎の根入れ深さに杭の効果を加えた根入れ深さを用いた結果に「杭考慮」の凡例を用いている。「杭無視」の場合、観測記録に対して、基礎入力動は、かなり過小評価となっている。次に、「杭考慮」した場合、評価結果はより小さくなるが、観測結果に比べて、依然、入力損失効果は過少に評価されている。

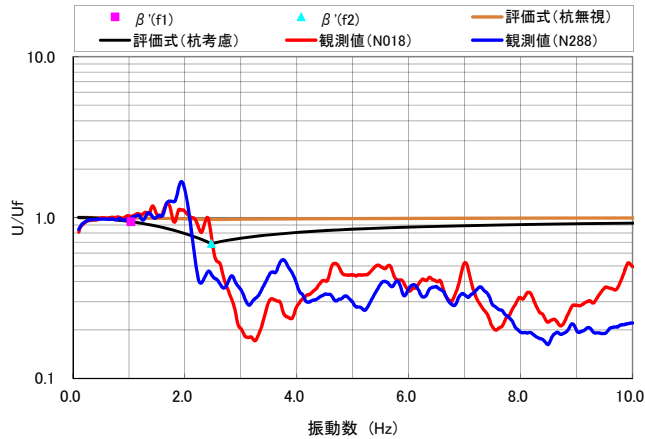


図 4.3-5 地表面に対する地下 1 階のフーリエスペクトル比と三浦・関式（建築物 NIT）
（1 次・2 次卓越振動数：1.04、2.48Hz）

(3) 杭基礎における検討（高層建築物、主に地下階あり）

図 4.3-6 に、地表面に対する建物 1 階のフーリエスペクトル比（地震観測結果）と三浦・関式の対応に関する結果（建築物 HMB）を示す。基礎根入れ深さについては、「杭無視」と「杭考慮」の結果を示した。「杭無視」の場合、観測記録に対して、基礎入力動の低減が小さい結果となっているが、「杭考慮」した場合、観測結果と良い対応を示している。

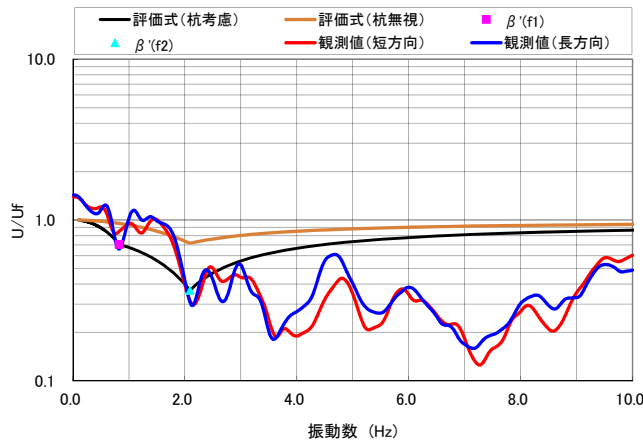


図 4.3-6 地表面に対する地下 1 階のフーリエスペクトル比と三浦・関式（建築物 HMB）
（1 次・2 次卓越振動数：0.826、2.09Hz）

以上の結果を、「(2) 杭基礎における検討（地下階の無い中低層建築物）」と合わせてみた場合、杭による入力損失効果は地下階無しの方が大きく現れ易く、その分、「杭基礎における検討（地下階の無い中低層建築物）」の場合には、簡易評価式が観測結果をかなり過少評価した（安全側に評価した）ものと言える。逆に、地下階がある場合には、無い場合よりは、杭による入力損失効果が現れにくく、その分、簡易評価式による結果が観測結果とよく対応するようになったと考えられる。前節の原田式の場合についても、地下階がある方が無い場合より杭による入力損失効

果を観測結果より大きめに見積もる結果となっており、やはり、杭による入力損失効果は地下階無しの方が大きく現れ易いということが結果に反映されたと考えられる。

ただし、このような地下階の有無と杭による入力損失効果の関係については、さらなる観測記録の分析が必要であるのと同時に、地下階と組み合わせた場合の杭の剛性の効果についての解析的検討も、今後、行っていく必要があると考えられる。

また、図 4.3-4～図 4.3-6 において、高振動数領域で三浦・関式の評価結果と観測結果との差が大きくなる原因として、振動数が高くなると地盤だけの場合でも、波動が地盤を下方から上昇する（伝搬する）時に散乱現象が生じて、一次元モデルで考えた場合とは地表面付近の地盤応答に差がみられることがあり、観測記録には、このような現象による効果も含まれていることが考えられる。

4.4 まとめ

本章では、基礎入力動の簡易式と観測記録から得られるフーリエスペクトル比(BASE/GL)を比較し、簡易式の妥当性を検討するとともに、杭による地震入力損失効果等について考察した。得られた結論を以下にまとめる。

- 1) 基礎構造の根入れ深さに基づく方法(原田式)、及び、基礎構造の根入れ深さと表層地盤の1・2次卓越振動数での変位分布に基づく方法(三浦・関式)を適用した場合の結果について、地震観測結果との対応をまとめると、以下のようになる。

(原田式)

- ・直接基礎（杭なし）の場合： 良い対応
- ・地下階なし・杭基礎の場合： 良い対応
- ・地下階あり・杭基礎の場合： 過大評価（地震動を小さく評価しすぎる）

(三浦・関式)

- ・直接基礎（杭なし）の場合： 良い対応
- ・地下階なし・杭基礎の場合： 過小評価
- ・地下階あり・杭基礎の場合： 良い対応

なお、杭による入力損失効果については、杭の等価根入れ深さを求め、根入れ深さの関数である原田式、又は、三浦・関式に、この等価根入れ深さを代入して評価している。

- 2) 三浦・関式は、現行の限界耐力計算法の改良法であるが、特に直接基礎の場合に、現行の方法では考慮していない2次固有振動数近傍での入力損失効果を妥当に評価していることが、地震観測の結果によっても確認された。
- 3) 本研究において観測記録と既往の簡易評価式との対応関係を検証した範囲内では、杭による入力損失効果は、地下階と組み合わせられた場合より、地下階なしの杭基礎の方が、より大きく現れ易いものとなった。ただし、このことについては、地震観測記録のさらなる分析が必要であり、また、地下階の有無に着目した場合の杭の剛性の効果についての解析的検討も、今後、行っていく必要があると考えられる。

【参考文献】

- 1) 原田隆典他：有効入力動の計算式とその実測例による検討、土木学会論文集、第 362 号、I-4、pp.435-440、1985.10
- 2) 土木学会編：動的解析と耐震設計、第 2 巻、動的解析の方法、技報堂出版、pp.281-282、1989.7
- 3) 河辺美穂、関崇夫：埋込みを有する群杭基礎の基礎入力動の簡易評価に関する研究、建築学会大会、構造Ⅱ、pp.369-370、2009.8
- 4) 三浦賢治：基礎への地震入力評価および地盤・構造物連成解析、建築技術、pp.94-107、1997.3
- 5) 泉洋輔、三浦賢治：限界耐力計算における基礎入力動評価の合理化に関する研究、日本建築学会構造系論文集、No.616、pp.57-65、2007.6
- 6) 関崇夫、田中清和：大型せん断土槽を用いた遠心振動台実験による基礎入力動の低減効果に関する研究、日本建築学会大会、構造Ⅱ、pp.17-18、2008.9