

基礎形状の不整形性や基礎形式の混用がねじれ基礎入力動に与える影響

TORSIONAL INPUT MOTION DUE TO FOUNDATION'S SHAPE AND COMPOSITE FOUNDATION

岩城 梨佳*, 福和 伸夫**, 護 雅史***, 彦坂 智基*

*Rika IWAKI, Nobuo FUKUWA, Masafumi MORI
and Tomoki HIKOSAKA*

In this paper, analytical examinations have been carried out in order to understand the torsional input motion induced by foundation's shape and the use of composite foundation. Analytical models are divided into five general categories; L-shape foundation or triangle-shape foundation supported by identical piles, square shape foundation supported by different diameter piles or supported by different length piles, and square foundation with partially embedment. It is clarified that the difference of pile section and partial embedment influences a lot on torsional input motion while the effect of foundation's shape and difference of pile length is not so much.

Keywords: *Soil-Structure Interaction, Torsional Input Motion, Pile Foundation,
Embedment Foundation, Base Isolation Structure*

相互作用, ねじれ入力動, 杭基礎, 根入れ基礎, 免震建物

1. はじめに

近年、平面的・立面的に不整形な形状をした免震建物や高層建物が数多く建設されるようになってきた。

免震建物の場合、上部構造物の重心と免震層の剛心とを一致させることによって、上部構造のねじれ応答を抑制することができるため、平面形状が不整形な免震建物が数多く存在する。また、下階に診療部門や店舗を有する病院、住宅やオフィスビルなどでは、低層部が高層部から張り出した立面形状の建物が多く見られる。この場合、鉛直荷重の異なる低層部と高層部とで、異なる基礎形式が採用されたり、径や長さの異なる杭が用いられたりする。また、建物計画上の要求から、基礎の一部分に地下室を有する建物が建設されることがある。この場合、地下室を有する部分のみ根入れ基礎となり、基礎—地盤系の剛性に偏りが生じる。

2005年6月から2009年5月の期間内にビルディングレータ¹⁾に掲載された303件の建物(うち、免震建物150件、超高層建物137件、その他16件)について調査したところ、平面形状が不整形であるものは64件、異なる径の杭を混用したもの(杭径に1.5倍程度以上の差があるもの)は54件、異なる長さの杭を混用したもの(杭長に1.5倍程度以上の差があるもの)は14件、基礎の一部に根入れ部分を有するものは41件であった。

このような建物では、基礎—地盤系の剛性に平面的に偏りが生じるため、水平入力地震動に対して、ねじれ方向の入力が励起されることが考えられる。本論では、この入力をねじれ入力動と呼ぶことにする。ねじれ入力動が問題となる建物としては、下屋が存在する免震建築物や高層建築物が考えられる。免震建物の場合には、ねじれ入力動が過大になると、基礎部がねじれ振動することにより、免震層端部で擁壁とのクリアランスの余裕度が減少する可能性があり、注意を要する。また、高層建築物については、高次モードでのねじれ入力動の層間変形角への影響が考えられる。

そこで、本研究では、基礎—地盤系の剛性に偏りのある建物のねじれ入力動について、基本的性質を明らかにし、設計時にねじれ入力動の検討をすべき条件を整理することを目的とする。具体的には、基礎—地盤系の剛性に偏りのあるケースとして、平面形状がL字型・三角形の基礎、平面的に径や長さの異なる杭を混用した基礎、一部に根入れのある基礎を取り上げ、それらを理想化した解析モデルについて、ねじれ入力動の振動数特性について検討する。解析には、薄層要素法と有限要素法を、容積法を用いた動的サブストラクチャー法によって結合した手法²⁾を用いる。

ねじれ入力動をはじめとする入力の相互作用に関する研究としては、以下の研究がある。まず、山原^{3),4)}は十勝沖地震の余震記録か

* 名古屋大学大学院環境学研究所 大学院生
** 名古屋大学大学院環境学研究所 教授・工博
*** 名古屋大学大学院環境学研究所 准教授・博士(工学)

Grad. Student, Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ.
Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.
Assoc. Prof., Grad. School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

ら地動と観測記録の関係を調べた結果、基礎は同位相同振幅では振動せず、波長が短いほど両者の差が大きいことを認めるとともに、これを入力損失と称し、入力の相互作用の重要性を指摘した。この入力の相互作用を解析的に検討した例としては、Luco⁹⁾や Trifunac¹⁰⁾が行った SH 波に対する二次元面外場の半円球基礎の解析がある。その後、井口¹¹⁾は 3 次元地表基礎の近似解法を示した。一方、Kobori¹²⁾や Luco⁹⁾は積分方程式法により、地表面円形基礎に SH 波が入射したときのねじれ振動問題を解いた。また、Yoshida¹³⁾は根入れ基礎のねじれ振動について、境界要素法と有限要素法のハイブリッド法による解析結果を示している。以上のように、位相差入力を想定したねじれ振動等に関する研究はこれまでに数多く発表されてきた。

これらの研究に対して、本研究では、より具体的な基礎を対象とし、鉛直下方からの入力に対して励起されるねじれ入力動に及ぼす影響について解析的に検討する。

また、基礎—地盤系の剛性に偏りのある杭基礎構造物のねじれ挙動についての研究としては、文献^{11)~14)}が挙げられる。このうち、文献^{11)~13)}は、支持地盤が傾斜した地盤に立地する杭基礎建物についての検討である。袋野ら¹⁴⁾は、建物のねじれ振動について、地震応答解析に基づいた検討を行った。辻ら¹²⁾は、異種基礎の水平荷重に対する静的な検討手法を提案した。山田ら¹³⁾は、三次元有限要素法

をもとに、精度の高い解析法を提案し、異種基礎と構造物の弾塑性地震応答解析を行った。また、木村ら¹⁴⁾は、杭配置に偏心を有する杭基礎のねじれ挙動について、遠心模型実験およびシミュレーション解析を行った。

これらの検討は、主として、上部構造の慣性力が基礎に作用する場合についてであり、慣性の相互作用効果に着目した研究である。これに対し、本報では、入力の相互作用効果に着目し、基礎を介して上部構造に入射するねじれ入力動について主に検討する。

ただし、基礎部へのねじれ入力動は、基礎形式や地盤条件に影響されることから、本論では、その性質に着目した検討を中心に行うこととし、ねじれ入力動が上部構造物の応答特性に与える影響についての具体的な検討は、稿を改めて報告する予定である。

2. 解析ケースおよび概要

表 1 に地盤の解析諸元、表 2 に杭の解析諸元、図 1 に座標系を示

表 1 地盤の解析諸元

地盤条件1	地盤条件2	地盤条件3	
$V_{s1}=150\text{m/s}$ $\rho_1=1.5\text{t/m}^3$	$V_{s1}=100\text{m/s}$ $\rho_1=1.4\text{t/m}^3$	$V_{s1}=150\text{m/s}$ $\rho_1=1.5\text{t/m}^3$	10m
	$V_{s2}=200\text{m/s}$ $\rho_2=1.6\text{t/m}^3$		
$V_{s2}=300\text{m/s}$ $\rho_2=1.8\text{t/m}^3$	$V_{s3}=400\text{m/s}$ $\rho_3=1.8\text{t/m}^3$		10m

※ $h=0.03$, $\nu=0.45$: 共通

表 2 杭の解析諸元

$E=2.0 \times 10^7 \text{kN/m}^2$	$\nu=1/6$
$\rho=2.4 \text{t/m}^3$	$h=0.03$

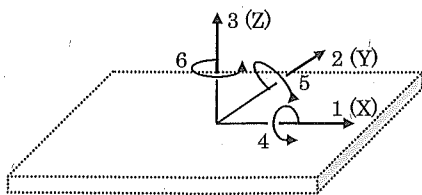


図 1 座標系

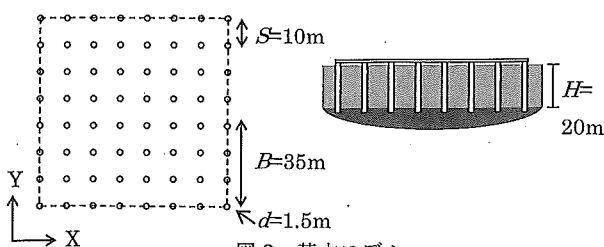


図 2 基本モデル

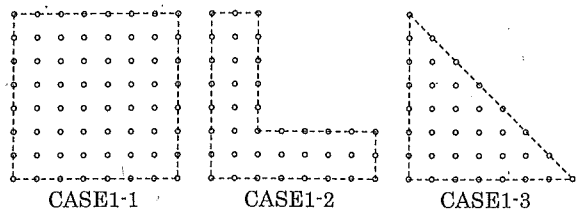


図 3 解析モデル (平面形状の不整形性)

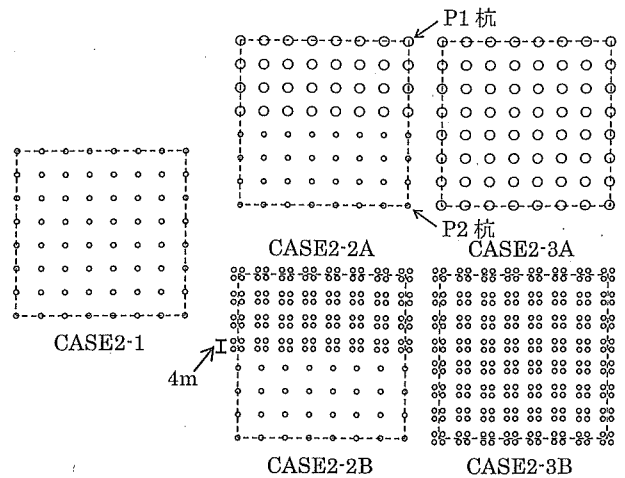


図 4 解析モデル (杭径の混用、単杭・群杭の混用)

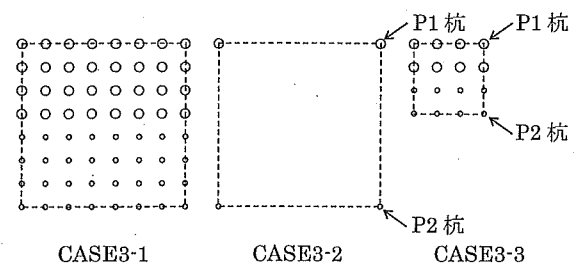


図 5 解析モデル (杭間隔、基礎の規模)



図 6 解析モデル (杭長の混用)

す。入射波として、鉛直下方から入射するSH波（振動方向はX方向）を考える。基礎入力動は、自由地盤表面の応答（ U_g ）に対する基礎底面位置でのX方向水平変位（ U_x ）、ロッキング回転角（ ϕ_0 ）、ねじれ回転角（ ϕ_0 ）の応答比として評価する。ただし、回転角は、基礎半幅（ B ）を乗じ、基礎端部での変位量に換算している。なお、特に記述がない場合、基礎入力動の評価点は基礎の図心位置としている。以下、解析ケースが多岐にわたるので、最初に、解析目的と解析ケースを整理して述べておく。

3～5節では、基礎—地盤系に偏心のある杭基礎についての検討を行う。図2に基本となる解析モデルを示す。特に記述がない場合、基礎半幅 $B=35\text{m}$ 、杭間隔 $S=10\text{m}$ 、杭長さ $L=22\text{m}$ 、表層地盤厚さ $H=20\text{m}$ 、杭径 $d=1.5\text{m}$ 、表1の地盤条件1を用いることとし、これを基本モデルと称することにする。杭の物性値は表2に示すとおりである。なお、基礎底面は地盤と非接触とする。

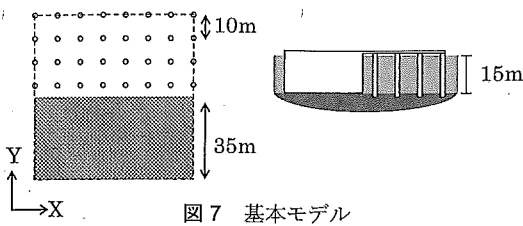


図7 基本モデル

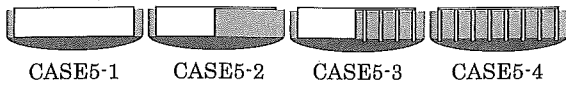


図8 解析モデル（一部に根入れを有する基礎）

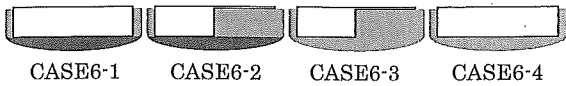


図9 解析モデル（根入れ底面地盤の影響）

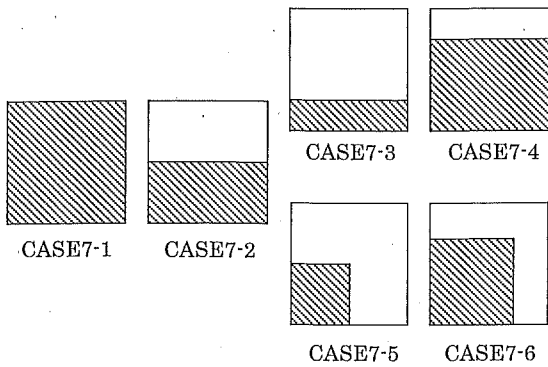


図10 解析モデル（平面形状の影響）

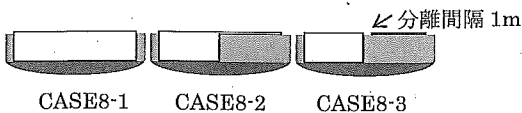


図11 解析モデル（構造的分離の影響・半根入れ基礎）

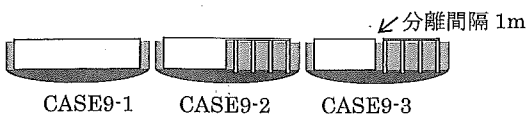


図12 解析モデル（構造的分離の影響・半根入れ+杭基礎）

3節では、杭基礎の平面形状の不整形性が基礎入力動に与える影響について、L字形基礎、三角形基礎を対象に検討を行う。基礎の平面形状を図3に示す。杭配置は、CASE1-1（正方形（基本モデルと同じ））、CASE1-2（L字形）、CASE1-3（三角形）の3ケースを考える。CASE1-2はCASE1-1から正方形を切り欠いた形状であり、CASE1-3はCASE1-1から二等辺三角形を切り欠いた形状である。杭本数は、それぞれ、64本、39本、36本である。

4節では、上部構造に低層部と高層部を有し、鉛直荷重に偏りのある場合を想定する。荷重が大きい高層部の基礎に対して、(A) 杭の径を太くする、もしくは(B) 杭本数を増やすことで対応した場合の基礎入力動について検討を行う。杭配置を図4に示す。径の異なる2種類の杭P1（ $d=3.0\text{m}$ ）、P2（ $d=1.5\text{m}$ ）を混用することで対応したものをCASE2-2A、P1杭と鉛直支持力を等価にするためP2杭を4本配置し、その杭間隔を4mとしたものをCASE2-2Bとする。また、比較のために、全てをP1杭としたCASE2-2A、P2杭4本配置としたCASE2-3Bも検討する。さらに、杭径を混用した基礎を対象に、杭間隔、基礎の平面規模の影響についても検討する。杭配置として、図5に示すように、CASE3-1（CASE2-2Aと同じ、 $B=35\text{m}$ ・ $S=10\text{m}$ ）、CASE3-2（ $B=35\text{m}$ ・ $S=70\text{m}$ ）、CASE3-3（ $B=15\text{m}$ ・ $S=10\text{m}$ ）を考える。杭本数はそれぞれ、64本、4本、16本である。

5節では、4節と同様に鉛直荷重に偏りのある場合を想定し、長さの異なる杭を混用して、支持力の大きい深部の支持地盤に支持させることで対応した場合について検討する。解析モデルの断面図を図6に示す。杭の平面的な配置は図2に従う。ここでは、地盤を三層の成層地盤とし、表1の地盤条件2を用いる。杭径は1.5mとする。図6中のCASE4-2は長い杭（杭長22m）と短い杭（杭長12m）を混用した場合を示しており、比較のために、全て長い杭を用いた場合（CASE4-1）と、全て短い杭を用いた場合（CASE4-3）を合わせて検討する。

6～7節では、一部に地下室が存在し、その位置が偏在する場合についての検討を行う。図7に基本となる解析モデルを示す。基礎の片側に、支持地盤に直接支持した地下室を有する正方形平面の建物を想定する。なお、基礎の半幅は35m、根入れ深さは15m、表層地盤厚さは15mとする。また、根入れ部分は無質量の剛体としてモデル化する。地盤条件は、表1の地盤条件1を用いる。杭がある場合には、杭間隔10m、杭長さ17m、杭径1.5mとし、物性値は表2の値を用いる。特に記述がない場合、この基本モデルに従うこととする。

6節では、根入れ部に偏りのある基礎の基本的な特性を把握するための検討を行う。解析ケースを図8に示す。CASE5-2は基礎の半分（ $70 \times 35\text{m}$ の部分）に根入れを有し、残りの半分は地表面基礎であるモデル（以下「半根入れ」と称する）を示し、CASE5-3は基礎の半分に根入れを有し、残りの半分は杭基礎としたモデル（「半根入れ+杭」）である。比較のため、基礎の全面積に根入れがあるCASE5-1（「全根入れ」）、基礎の全面積が杭基礎のモデルCASE5-4（「全杭」）も合わせて検討する。

これに加え、根入れ部の支持地盤剛性の影響を検討するために、前出の全根入れモデル、半根入れモデルについて、それぞれ二層地盤と一層地盤（地盤条件は表1の地盤条件3）とを比較する。解析ケースは、図9に一覧するように、二層地盤での全根入れモデル

CASE6-1 (CASE5-1 と同一)、二層地盤での半根入れモデル
CASE6-2 (CASE5-2 と同一)、一様地盤での半根入れモデル
CASE6-3、一様地盤での全根入れモデル CASE6-4 である。

さらに、根入れ部分が偏在する基礎において、根入れ部分の平面的な形状が与える影響について検討を行う。解析ケースを図 10 に示す。ここでは、根入れを有する部分をハッチ掛けで表す。全根入れモデル CASE7-1 (CASE5-1 と同一)、半根入れモデル CASE7-2 (CASE5-2 と同一)、根入れ部分の面積が基礎面積の 1/4 である長方形モデル CASE7-3、3/4 である長方形モデル CASE7-4、根入れ部分の面積が基礎面積の 1/4 である正方形モデル CASE7-5、1/2 である正方形モデル CASE7-6 について検討する。

7 節では、前出の半根入れモデル、半根入れ+杭モデルについて、根入れ部分と、地表面基礎部分・杭基礎部分とを、構造的に分離した場合についての検討を行う。解析ケースを図 11、図 12 に示す。CASE8-3、CASE9-3 は、それぞれ、半根入れモデルの根入れ部分と地表面基礎部分を 1m 離れたモデル、半根入れ+杭モデルの根入れ部分と杭基礎部分を 1m 離れたモデルを示す。なお、参考のため、

基礎が一体となった CASE5-1 と同一の全根入れモデル (CASE8-1、CASE9-1)、CASE5-2 と同一の半根入れモデル (CASE8-2)、CASE5-3 と同一の半根入れ+杭モデル (CASE9-2) も合わせて検討する。

3. 平面形状の不整形性の影響

図 3 に示す 3 種類の基礎の平面形状について、基礎入力動を比較して図 13 に示す。水平成分については基礎形状による差は小さいが、CASE1-2、CASE1-3 の場合には、ロッキング入力動が若干増加するとともに、ねじれ入力動が励起されている。しかし、その振幅は、高振動数域でも、基礎端部での水平入力動の 2% 程度であり、基礎の平面形状がねじれ入力動に及ぼす影響は比較的小さい。

4. 杭径の混用、フーチング下单杭・群杭の混用の影響

図 4 に示した杭径を混用した場合の検討結果 (CASE2-1、CASE2-2A、CASE2-3A) を図 14 に示す。また、図 15 に、P1 杭の代わりに P2 杭を 4 本配置した場合の検討結果 (CASE2-1、

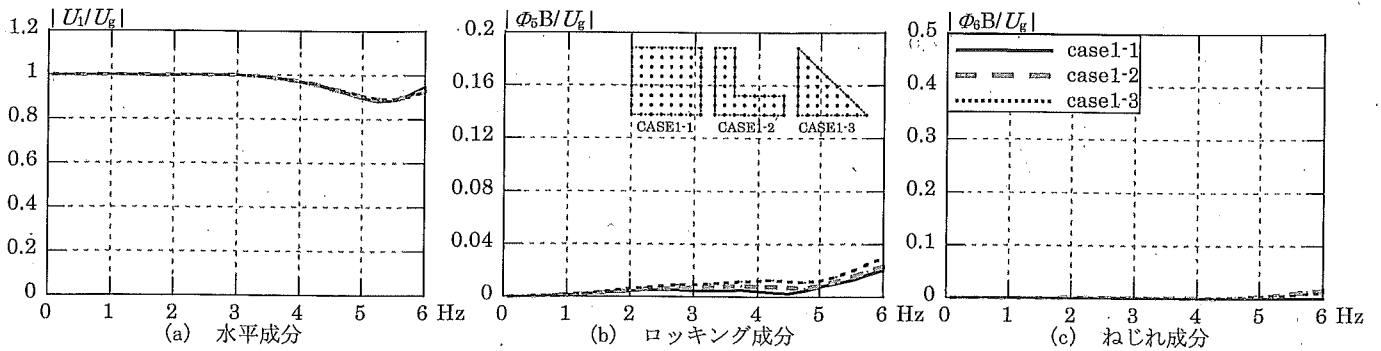


図 13 平面形状が不整形な場合の基礎入力動

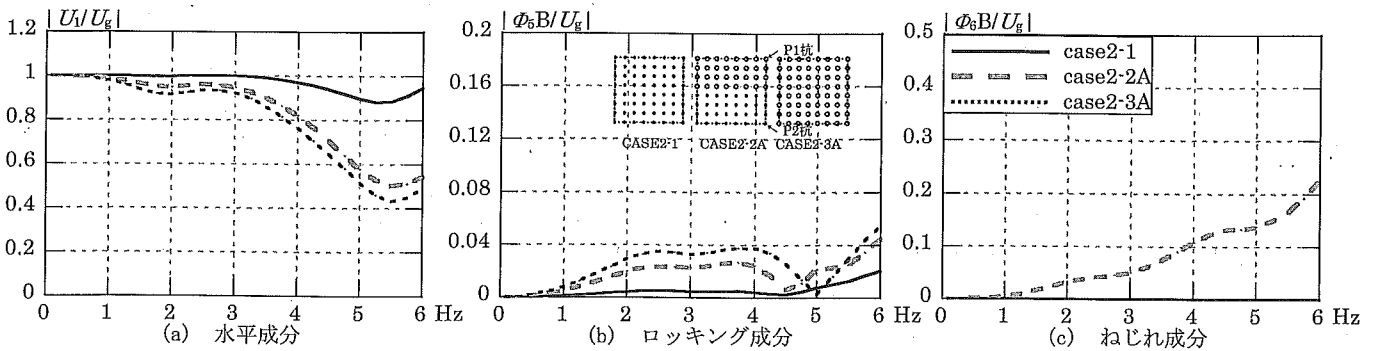


図 14 杭径を混用した場合の基礎入力動

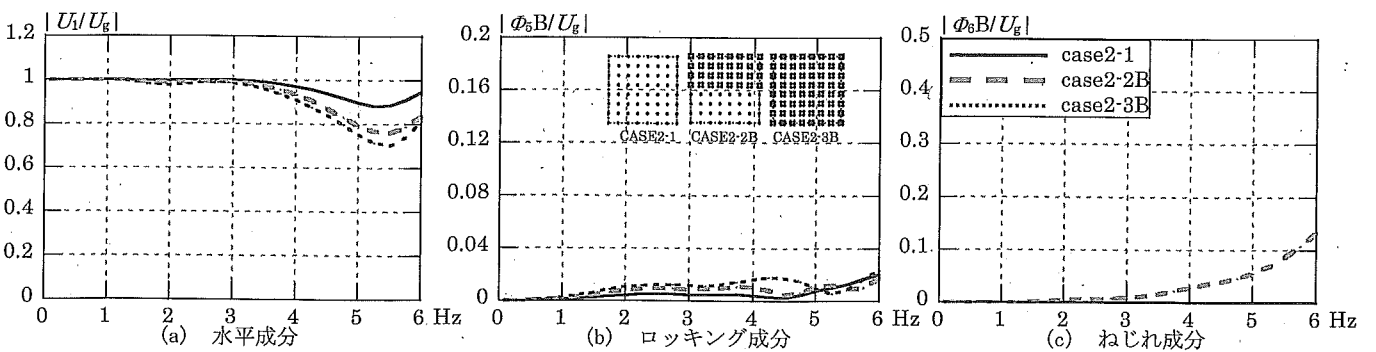


図 15 単杭・群杭を混用した場合の基礎入力動

CASE2-2B、CASE2-3Bの比較)を示す。

まず、ねじれ成分に注目すると、図14(c)、図15(c)より、CASE2-2A、CASE2-2Bの場合では、ねじれ入力動が大きく励起されており、とくに径の異なる杭を混用したCASE2-2Aのねじれ入力動は、同一杭を配したCASE2-2Bのねじれ入力動の2倍程度の振幅となっている。

図14(a)、図15(a)より、異なる径で同一の杭を配したCASE2-1とCASE2-3Aの水平入力動の差は大きく、同一径で杭本数の異なるCASE2-1とCASE2-3Bの差は小さい。これは、杭の水平応答の変動が、剛性の大きい杭体の存在による地盤変形の拘束効果によって生じるため、杭と地盤との水平方向の剛性比の影響が大きく、杭径の差異の方が杭本数の差異よりも杭応答に大きな影響を与えるためと考えられる。また、断面積を等価とした場合、P1杭1本の水平剛性の方が、P2杭4本の水平剛性の和よりも大きいことも影響していると考えられる。なお、ロッキング入力動については、ねじれ入力動に比べて振幅は小さいが、図14(b)、図15(b)を比較すると、CASE2-1とCASE2-3Aの差が大きく、水平入力動の低減効果が大きいほど回転入力動が励起されやすくなっている。

以上から、径が異なる杭を混用することは、平面内での杭の水平応答に偏りを生じさせ、ねじれ入力動を励起しやすいことが指摘できる。鉛直支持荷重が平面内で変動する基礎の場合には、できるだけ同径の杭を用い、杭本数により支持力の差を調節することで、ねじれ入力動の励起を抑えることができる。

杭間隔や基礎サイズの影響を検討するために、図5に示した3ケースの解析結果を図16に示す。ここで、図16(b)、(c)について、CASE3-3 ($B=15m \cdot S=10m$ ・杭本数16本のモデル)のみ、他のモデルとは異なる半幅 B を乗じている。図16(a)より、杭間隔が異

なり基礎の規模が等しい場合、杭間隔が等しく基礎の規模が異なる場合ともに、水平入力動は同程度であると言える。図16(c)より、ねじれ入力動に起因する基礎端部の水平変位は、杭間隔が等しい場合には同程度(ねじれ回転角は基礎が小さいほど大きくなる)であり、基礎の規模が等しい場合には、杭間隔が密なほど大きくなっている。

5. 杭長の混用の影響

長さの異なる杭を混用した場合の解析結果を、図17に示す。図17(c)より、混用をしたCASE4-2では、ねじれ入力動が励起されているが、その応答振幅は、異なる杭径の杭を混用した図14の結果と比べて非常に小さい(CASE2-2Aの1割程度)。これは、図17(a)において、CASE4-1、CASE4-3の水平入力動に顕著な差がないことから、各杭の水平応答がほぼ同一であり、その結果としてねじれ入力動が励起されていないと考えられる。

以上より、鉛直支持荷重に偏りがある場合には、より支持力のある層まで杭長を長くすることで、ねじれ入力動の励起を低減できることが分かる。

6. 根入れの偏在の影響

次に、根入れ部の偏在による影響を検討するために、図8に示した解析ケースについての解析結果(振幅、位相差)を図18に示す。図18(c)より、CASE5-2、CASE5-3では、ねじれ入力動が大きく励起されている。また、図18の位相差より、CASE5-2、CASE5-3では、ねじれ成分は自由地盤地表面の応答に対し、ほぼ逆位相となっていることがわかる。

CASE5-2、CASE5-3のねじれ入力動は5Hz付近にピークが見ら

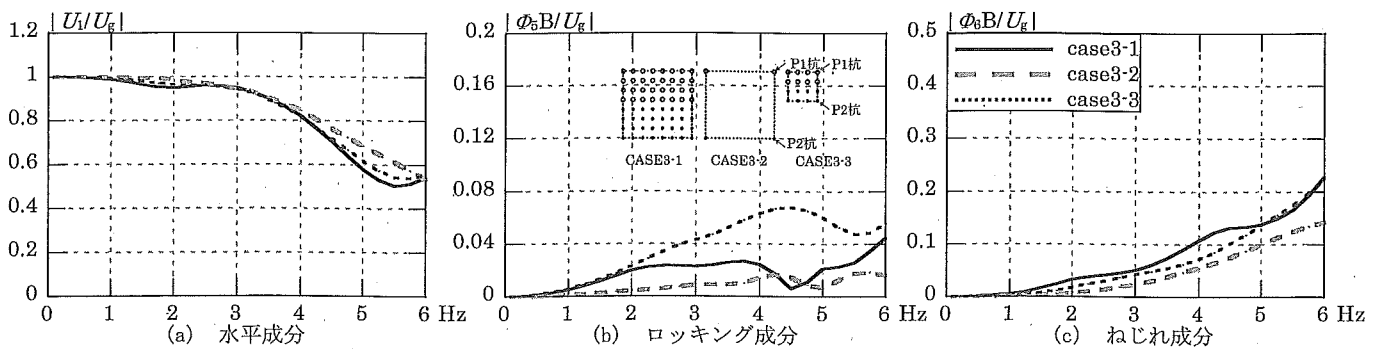


図16 杭間隔、基礎の規模の影響

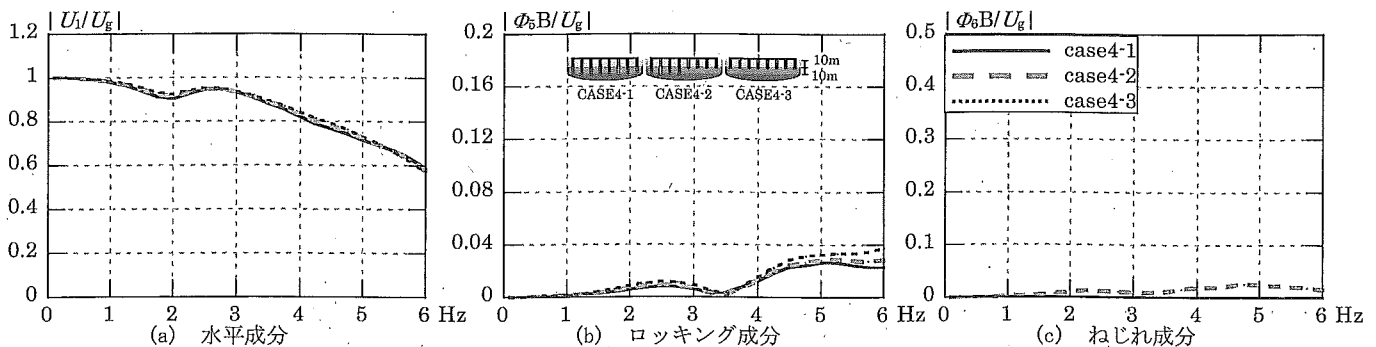


図17 杭長を混用した場合の基礎入力動

れるが、これは、5Hz 付近で自由地盤応答が基礎の根入れ深さに対して半波長となるため、根入れ部では自由地盤の変形が拘束されて、揺れが小さくなる一方で、地表面基礎部は深さ方向の振動が拘束されにくいいため、根入れ基礎部と地表面基礎で振幅の差が生じることにより、ねじれ入力動が励起されると推定される。

また、図 18 (a) より、CASE5-1 と、CASE5-2・5-3 とでは、水平入力動の振動数特性が大きく異なっている。これは、別途検討したところ、根入れ部が偏在することによりねじれ振動の回転中心が

ずれたことの影響と考えられる。3Hz を超える振動数では並進成分とねじれ動による水平変位が図心位置で相殺し、振幅が小さくなったようである。

図 18 (c) で、CASE5-2 と CASE5-3 を比較すると、5Hz 程度以下では、ねじれ入力動の振幅に大きな差がなく、根入れのない部分に配した杭のねじれ入力動抑制効果が小さいことを意味している。これは、根入れ基礎部に比べ、杭基礎の水平剛性への寄与が相対的に小さいことに起因していると考えられ、図 18 (a) において、

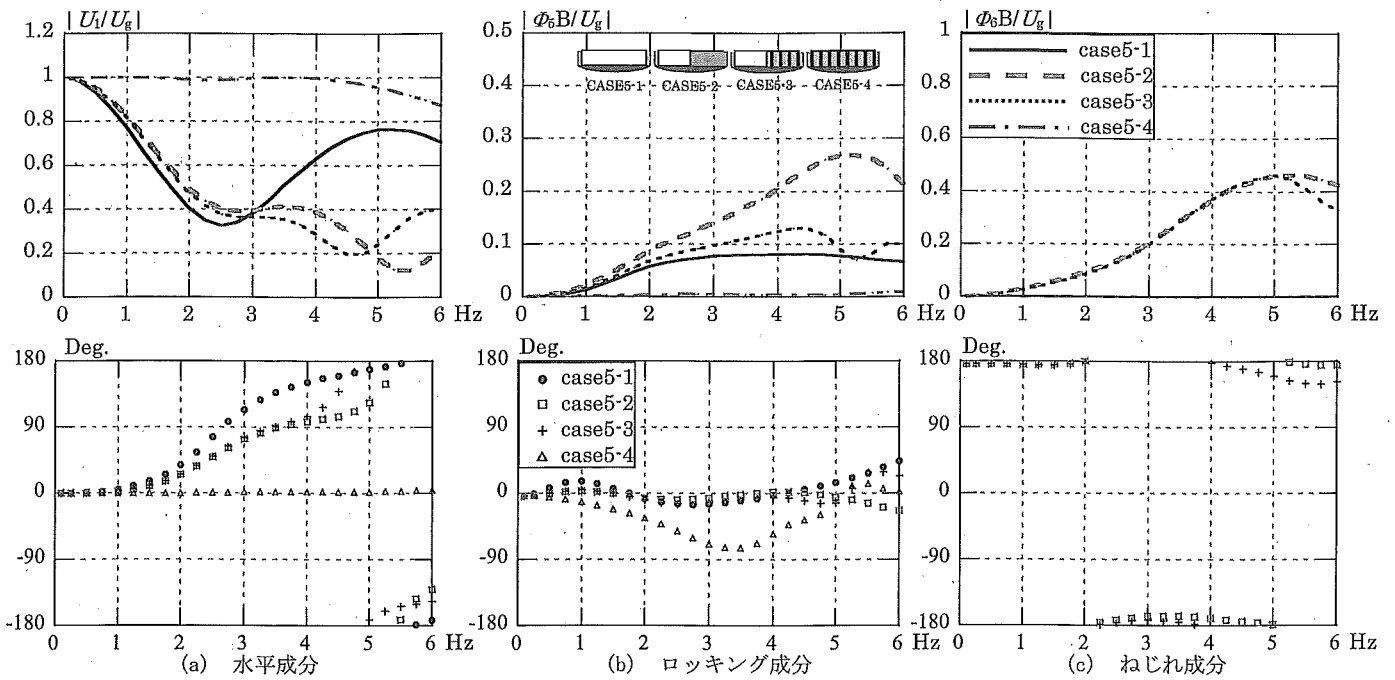


図 18 一部に根入れを有する基礎の入力動 (上：振幅、下：位相差)

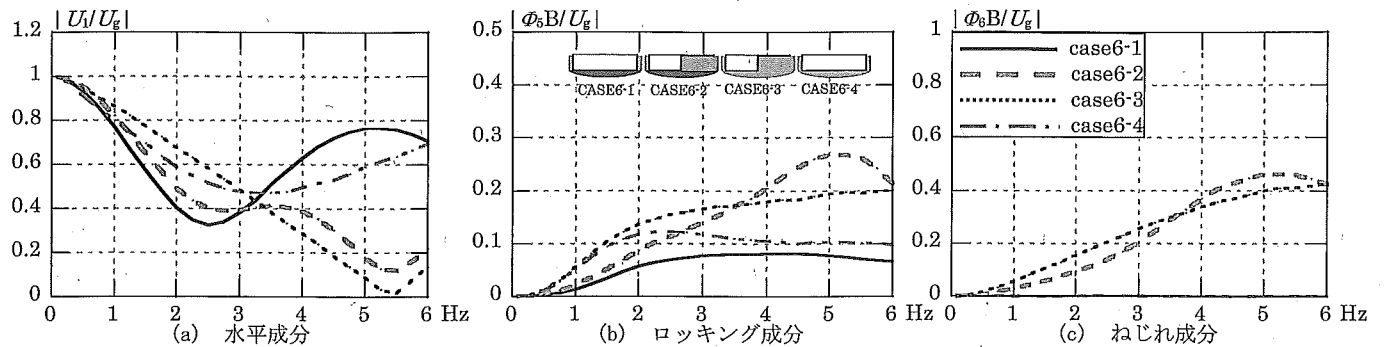


図 19 根入れ底面地盤が基礎入力動に及ぼす影響

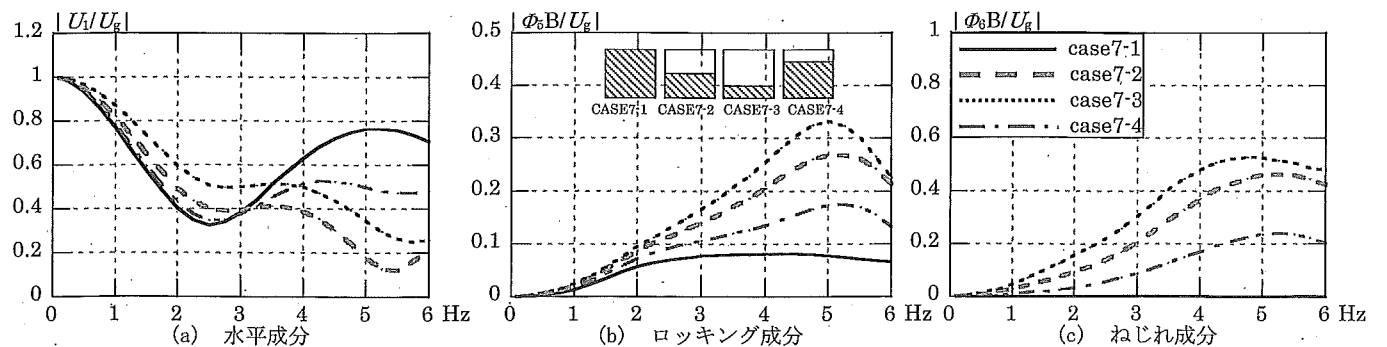


図 20 平面形状の影響 (根入れ部、長方形)

CASE5-1 と CASE5-4 を比較することで理解できる。これに対し、ロッキング入力動は杭の存在により、大きく抑制されている。

図 19 は、支持地盤のせん断波速度の影響を検討するために、図 9 に示した解析ケースについての解析結果を示している。図 19 (a) より、CASE6-1 と CASE6-4、CASE6-2 と CASE6-3 をそれぞれ比較すると、振動数特性にやや違いが見られるが、振幅は同程度になっている。

次に、根入れ部の偏在の仕方の影響を検討するために、図 10 に示した解析ケースについて、解析結果を図 20 (CASE7-1、CASE7-2、CASE7-3、CASE7-4 の比較)、図 21 (CASE7-1、CASE7-2、CASE7-5、CASE7-6 の比較) に示す。図 20 (c) より、CASE7-4、CASE7-2、CASE7-3 の順にねじれ入力動が大きく励起されることがわかる。さらに、図 21 (c) の結果から、CASE7-2 と CASE7-5 のねじれ入力動が同程度である。また、CASE7-5、CASE7-6 については、X 軸から 45° 方向の鉛直下方 SH 波に対して、ねじれ入力動がより大きく励起されることを、別途確認している。以上の点から、基礎—地盤系の剛性の偏心距離が大きいほどねじれ入力動の振幅が大きくな

ると考えられる。

7. 構造的分離の影響

根入れ部が偏在する部分を構造的に分離することの影響を把握するために、図 11、12 に示した解析ケースについての解析結果を図 22、図 23 に示す。なお、CASE8-3、CASE9-3 の場合、根入れ部分の図心および地表面基礎・杭基礎部分の図心で基礎入力動を評価している。ただし、ロッキング成分、ねじれ成分の場合に乗じている半幅 B は 17.5m としている。図 22 (c)、図 23 (c) より、根入れ部分を構造的に分離することにより、根入れ部分のねじれ入力動は大きく抑制されている。しかし、地表面基礎部分や杭基礎部分では、根入れ部分の地盤拘束効果による周辺地盤応答のかく乱のため、ねじれ入力動が大きく励起されている。ただし、地表面基礎部分に杭を打設することで、その影響を減じることができている。

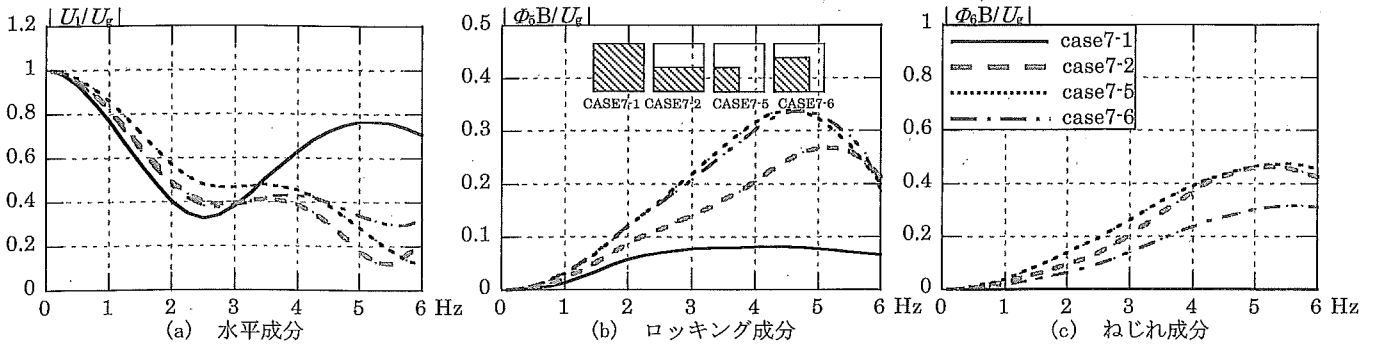


図 21 平面形状の影響 (根入れ部、正方形)

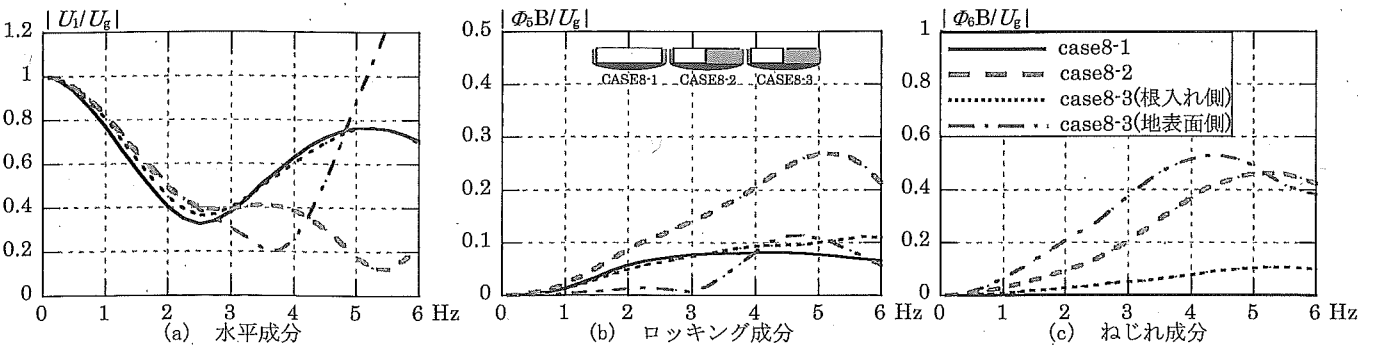


図 22 構造的分離の影響 (直接基礎)

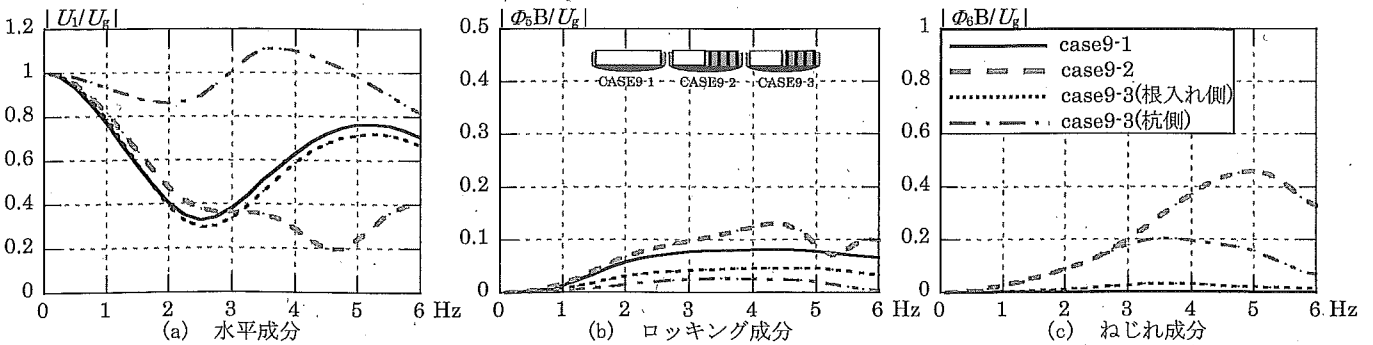


図 23 構造的分離の影響 (一部、杭基礎)

8. まとめ

本研究では、基礎—地盤系の剛性に偏りが存在する場合のねじれ基礎入力動についての検討を行うため、L字形・三角形基礎や、平面的に径や長さの異なる杭を混用した基礎、一部に根入れのある基礎を取り上げ、解析的に基礎入力動の検討を行った。得られた知見を以下にまとめる。

【杭基礎についての知見】

- ・L字形、三角形など、平面形状が不整形な杭基礎では、ねじれ入力動が励起されるが、その振幅は水平入力動と比べ大きくはない。
- ・径が異なる杭を混用すると、ねじれ入力動が励起されやすい。これに対する代替策として、同径の杭を用い、杭本数により支持力の差を調節することで、ねじれ入力動の励起を抑制することができる。
- ・支持基盤の支持力の違いを利用して長さの異なる杭を混用すると、杭径や杭本数を混用した場合と比較して、ねじれ入力動は励起されにくい。

【根入れ基礎についての知見】

- ・一部に根入れ部分を有する基礎の場合、ねじれ入力動が大きく励起される。また、根入れの無い部分に杭を配した場合でも、ねじれ入力動の低減効果は小さい。
- ・ねじれ入力動の振幅には、根入れ部分の面積はあまり影響せず、入射波に対する根入れ部分の見付け幅が大きく影響する。
- ・根入れ部分と根入れが無い部分の基礎を構造的に分離した場合、根入れ部分のねじれ入力動は低減されるが、逆に、根入れが無い部分ではねじれ入力動が励起されやすい。ただし、根入れが無い部分に杭を配することで、ねじれ入力動を抑制することができる。

今後は、上部構造物の応答に及ぼす影響についても検討を加えていく予定である。

謝辞

中国湖南大学の文学章博士には相互作用解析プログラムを提供していただきました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (財)日本建築センター：ビルディングレター，第489号～第521号，2005.6-2009.5
- 2) 文学章・福和伸夫：隣接建物の存在が直接基礎の動的相互作用特性に与える影響，日本建築学会構造系論文集，第600号，pp.97-105，2006.2
- 3) 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，pp.61-66，1969
- 4) 山原浩：地震時の地動と地震波の入力損失(第2報)，日本建築学会論文報告集，第167号，pp.25-30，1970
- 5) J. E. Luco : Torsional Response of Structures for SH Waves : The Case of Hemispherical Foundations, Bul. Seis. Soc. America , 66, pp.109-123, 1973
- 6) M. D. Trifunac: Interaction of a Shear Wall with the Soil for Incident Plane SH-Wave , Bull. Seis. Soc. America, 62, pp.63-83, 1972
- 7) 井口道雄：地震動の位相差及地盤—構造物の相互作用を考慮した地震応答，関東地震50周年記念地震工学シンポジウム，pp.211-218，1973
- 8) T. Kobori, T. Minai and Y. Shinozaki: Vibration of Rigid Circular Disk on an Elastic Half-Space Subjected to Plane Waves, Theoretical and Appl, 21, pp.109-119, 1973
- 8) J. E. Luco : Torsional Response of Structures of Obliquely Incident

SH Waves, Int. J. Earthquake Eng. Struct. Dyn., 4, pp.207-219, 1976

- 10) K. Yoshida : Fundamental Studies Soil-Structure Interaction Problems, IRI Report, 95-01, 1995.3
- 11) 袋野健一・日下部馨：杭基礎部に偏心を有する建築構造物のねじれ振動，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2, pp.289-290，1995.7
- 12) 辻英一・松尾雅夫・小野俊博・細野久幸：異種の基礎を併用した建築物の検討法に関する研究(その2)，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1, pp.747-748，1999.9
- 13) 山田有孝・三浦賢治：異種の基礎を併用した構造物の弾塑性地震応答性状，日本建築学会構造系論文集，第529号，pp.113-119，2000.3
- 14) 木村匠・真野英之・社本康広・中井正一・松井和幸・護雅史：杭配置に偏心を有する杭支持構造物の地震時ねじれ挙動に関する研究，日本建築学会構造系論文集，第626号，pp.543-549，2008.4

(2009年7月10日原稿受理，2009年11月20日採用決定)