

### 3. 黒鉛を摩擦材とした滑り基礎構法に関する研究

#### Study on Sliding Base Structure Using Graphite Friction Materials

柳田佳伸\* 波田雅也\*\* 竹内健一\*\*\* 北嶋圭二\*\*\*\*

#### —概要—

滑り基礎構法とは、建物を支えている基礎板と人工地盤（コンクリート製）との間に挿入された摩擦材（黒鉛）により、大地震時に人工地盤に生じる加速度が一定以上になると基礎板が滑り出すことで、上屋建物の応答を低減させる効果を有する構法である。滑り基礎構法は基礎板、PC板、黒鉛、人工地盤により構成される。図1に構成内容を、表1に黒鉛の主な性質を示す。本構法は主として低層の建物を対象としている。

#### —技術的な特長—

滑り基礎構法は、摩擦材（黒鉛）により基礎板が滑ることで基礎板に生じる加速度が、図2に示すように150~200Gal程度で頭打ちとなる応答低減効果を有する構法である。また、残留変位の抑制効果（図3）および片流れを防止するため、人工地盤の外周部にすり鉢状のテーパーを施し、高低差（図4）を設けていることを特長としている。滑り基礎構法は、特殊な技術を必要とせずに施工することができ、黒鉛の塗布およびPC板の敷設作業についても簡易なものである。写真1に滑り基礎構法の施工概要として、縮小試験体の製作状況を示す。

本論文では、テーパーによる残留変位の抑制効果の確認、およびテーパーを施すことが加速度応答低減および摩擦係数に影響しないことを確認したので、その内容について報告する。

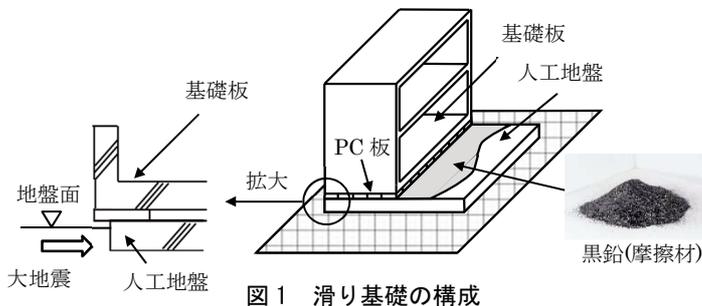


図1 滑り基礎の構成

表1 黒鉛の主な性質

性質	説明
潤滑性	柔軟でよく滑る
他物質との反応	化学的に非常に安定しており他物質と反応しない
有毒性	人体・環境に無害
水への融解性	溶けない

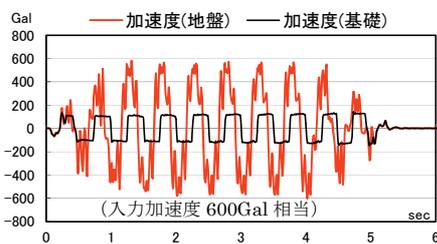


図2 人工地盤と基礎板の応答加速度

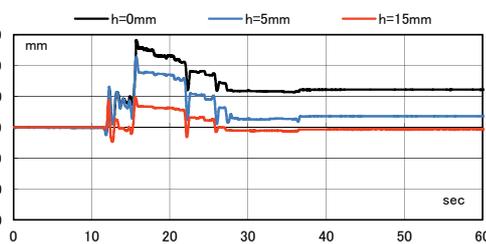


図3 高低差 h と残留変位量

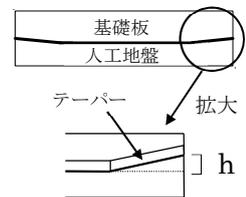


図4 高低差 h



写真1 滑り基礎構法の施工概要

\*技術研究所建築研究室 \*\*技術研究所耐震リニューアル研究室 \*\*\*東京建築本店設計部 \*\*\*\*日本大学

## 黒鉛を摩擦材とした滑り基礎構法に関する研究

-テーパー付試験体の加振実験-

## Study on Sliding Base Structure Using Graphite Friction Materials

-Shaking Table Test with Tapered Specimen-

○柳田 佳伸\* 波田 雅也\*\* 竹内 健一\*\*\* 北嶋 圭二\*\*\*\*

Yoshinobu YANAGITA Masaya HADA Kenichi TAKEUCHI Keiji KITAJIMA

ABSTRACT By reducing the acceleration which is input into the building during an earthquake, a large earthquake damage of buildings is greatly reduced. As structural form for reducing the acceleration, it has already been proposed, such as sliding base structure and reduction of seismic structure of the ground. Sliding base structure is composed of a concrete made of artificial ground and foundation plate. Friction material to reduce the acceleration is used for artificial ground and foundation plates. As a friction material, graphite with a cheap and small coefficient of friction is used. Sliding base structure consists of these materials, if the ground acceleration exceeds a certain size, by artificial ground and foundation plates are slipping, the foundation construction method that allows a reduction of the input acceleration.

Keywords: 摩擦係数, 黒鉛, テーパー

*Coefficient of Friction, Graphite, Taper*

## 1. 序

大地震時に建物に輸入される加速度を低減することによって、建物の地震被害は大幅に軽減される。木造住宅などの比較的軽量の建物を対象とし、免震構造に準じた入力低減効果を低コストで実現するための構造形式として、滑り基礎構造<sup>1)</sup>や地盤減震構造<sup>2)</sup>などが提案されている。

本研究は、RC造中低層建物を対象とした、滑り基礎構法の実現の可能性について2009年以降、検討を重ねてきた。滑り基礎構法は、次節の概念図に示すように、コンクリート製の人工地盤と基礎板の間に、安価で摩擦係数が小さな摩擦材を挿入し、地盤加速度がある一定以上の大きさになると、人工地盤と基礎板の間が滑ることにより、建物への入力加速度を低減させる基礎構法である。既往の滑り基礎構造<sup>1)2)</sup>では、摩擦材としてシート状のものを使用しているのに対し、本研究では、耐圧性、耐久性、耐候性、経済性などを考慮して、黒鉛粉末を人工地盤上に直接塗布することとしている。本報では、2009年以降、様々な検証を重ねた結果、滑り基礎構法は安定した滑り性能を有することを確認している。本報では、すり鉢状のテーパ

ーを付けた試験体において、地震時に生じる滑り性状に与える影響を加振実験によって確認した結果を報告する。確認する滑り性状は加速度、絶対変位、相対変位、地震終了後の残留変位、摩擦係数、および基礎板の片流れ（ドリフト）現象の抑制効果である。

## 2. 滑り基礎構法の概要

## 2.1 滑り基礎構法の構成

滑り基礎構法の構成図を図1に示す。滑り基礎構法は基礎板、PC板、黒鉛、人工地盤により構成される。なお、基礎板コンクリートはPC板上に打設されることでPC板と一体化される。

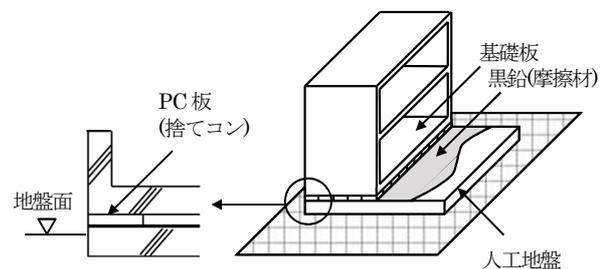


図1 滑り基礎構法の構成

\*技術研究所 建築研究室

\*\*技術研究所 耐震リニューアル研究室

\*\*\*東京建築本店設計部

\*\*\*\*日本大学 准教授

※本研究は、日本大学理工学部海洋建築学科との共同研究の一環で行われている。

## 2.2 黒鉛の特性

表1に示すように黒鉛(写真1)は、化学的に非常に安定しており、柔軟でよく滑る性質を持っている。また、黒鉛は、水に溶けず、人体および環境に対して無害であり、かつ安価であることから、滑り性能、環境、コスト面において非常に優れた摩擦材と言える。なお、滑り基礎構法には、過去に実施した黒鉛種別の滑り性能確認実験から、最も安定した滑り性能を有する鱗状黒鉛F#1が用いられる。

表1 黒鉛の主な性質<sup>③</sup>

性質	説明
潤滑性	柔軟でよく滑る
他物質との反応	化学的に非常に安定しており他物質と反応しない
有毒性	人体・環境に無害
水への融解性	溶けない <sup>④</sup>



写真1 黒鉛

## 2. 加振実験

### 2.1 試験体の概要

試験体は、図2に示すように幅1800×1800mm、高さ150mmのコンクリート製の人工地盤と基礎板である。また、テーパの効果を確認するため、試験体は中央部と端部の高低差hが異なる3タイプを用意した。高低差をつけないフラットタイプ試験体(h=0mm)と試験体端部の幅1/4にそれぞれh=5mm、15mmの高低差を施したものとする。試験体の作製方法は、人工地盤を打設した後、コンクリート硬化前

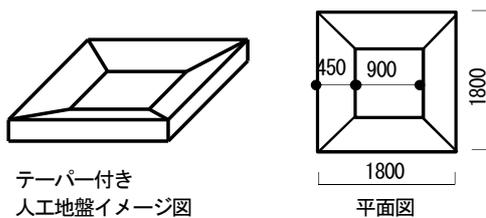
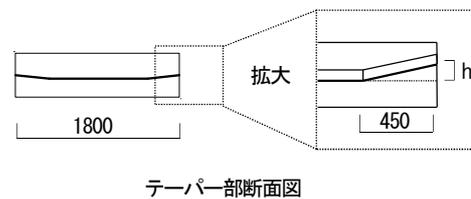
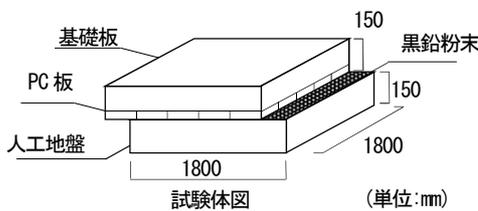


図3 試験体概要図

に人工地盤上面が、テーパ状になるよう金鋸押えを行った後、滑り面となる人工地盤上面をサンダーにて研磨して、約100g(30g/m<sup>2</sup>)の黒鉛粉末を塗布する。その上に300mm角、厚さ50mmのPC板を敷き詰め、その側面部に型枠を設置しPC板上に基礎板コンクリートを打設することで滑り面と基礎板が接合しないようにした。なお、基礎板の重量はPC板も含め約11.0kNである。

### 2.2 実験方法

図3に試験体セットアップ状況を示す。加振方法は、動的アクチュエータ(ストローク±150mm)を取付けた加振テーブルに人工地盤を固定して、慣性力にて基礎板を滑らせた。実験では、人工地盤と基礎の絶対加速度をサーボ式加速度計にて、相対変位をレーザー変位計にて計測した。加速度データは1msecのサンプリングタイムにて計測し、その後50Hzのハイカットフィルタ処理をしてから10msecへと圧縮した。加振波は、定常波と非定常波(地震波)とし、定常波は斬増sin波3波(1.33Hz, 2.0Hz, 4.0Hz)を600m/sec<sup>2</sup>入力となるように変位を設定した。非定常波は、図3に示すスペクトル特性の模擬地震動5波(告示波)をベースとし、加振装置のストローク(±150mm)の制約から1.0Hzのハイパスフィルタ処理した波(修正波)を作成し使用した。入力加振波の一覧表を表2に示す。

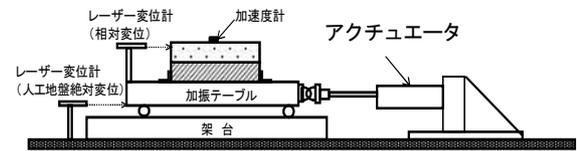
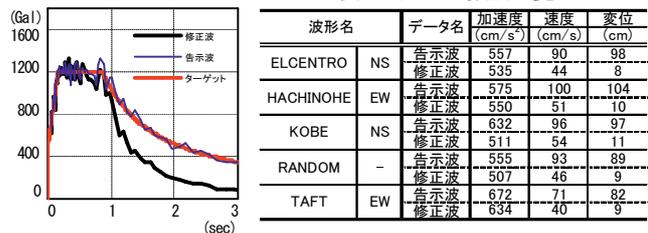


図4 試験体セットアップ

表2 入力加振波一覧



波形名	データ名	加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	速度 (cm/s)	変位 (cm)
ELCENTRO NS	告示波	557	90	98
	修正波	535	44	8
HACHINOHE EW	告示波	575	100	104
	修正波	550	51	10
KOBE NS	告示波	632	96	97
	修正波	511	54	11
RANDOM -	告示波	555	93	89
	修正波	507	46	9
TAFT EW	告示波	672	71	82
	修正波	634	40	9

図5 入力波特性

### 3. 実験結果

基礎板の加速度、基礎板の変位および摩擦係数は、図6~図15に示す結果となった。以下に、各実験結果から、テーパの効果が滑り性能に与える影響について述べる。なお、表3~6には、実験で計測された地盤と基礎の最大加速度、絶対変位の最大値、相対変位の最大値、残留変位を示す。

a) 最大加速度

図6に定常波(2Hz)加振時における高低差別の加速度波形を示す。図7に非定常波(El Centro)加振時の加速度波形を示す。人工地盤の加速度600cm/sec<sup>2</sup>に対し、基礎板の加速度は各試験体共に、定常・非定常に関係なく150~200cm/sec<sup>2</sup>程度で頭打ちとなっていることが確認できる。このことから、15mm程度の高低差は波の特性に与える影響は小さいことがわかる。

b) 絶対変位、相対変位および残留変位

図8に定常波(2Hz)加振時における人工地盤の絶対変位波形、基礎板の絶対変位波形および相対変位波形を示す。図9に非定常波(El Centro)加振時における人工地盤の絶対変位波形、基礎板の絶対変位波形および相対変位波形を示す。定常波において、基礎板の絶対変位は人工地盤より小さいことがわかる。非定

常では地盤変位と類似した挙動を示した。これは地盤加速度が150cm/sec<sup>2</sup>程度以上で基礎板が滑り、それ以外の時は人工地盤と同じ挙動を示す為である。また、図10~12に各加振波における最大絶対変位、最大相対変位および残留変位を示す。各変位において、いずれの場合も高低差が無い試験体に比べて、高低差を施した試験体(h=5, 15mm)の変位量が小さいことがわかる。

c) 摩擦係数

摩擦係数は基礎の加速度を重力加速度で除して算出した。図13に2Hz加振時のそれぞれの摩擦係数-相対変位波形を、図14にEl Centro加振の摩擦係数-相対変位波形を示す。また、図15に基礎板の滑り時の摩擦係数の最頻値を示す。加振波にもよるが、わずかに15mm試験体の摩擦係数は高いが、各試験体ともほぼ同等の値を示している。

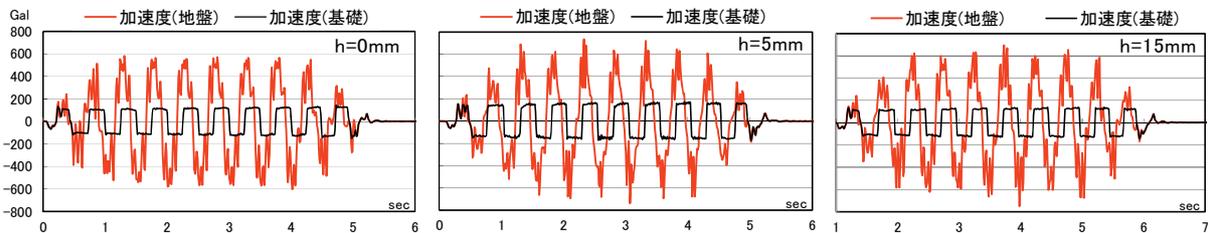


図6 加速度波形(定常)

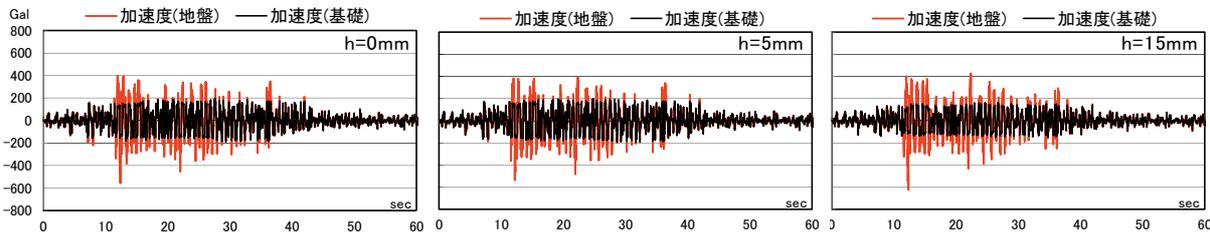


図7 加速度波形(非定常)

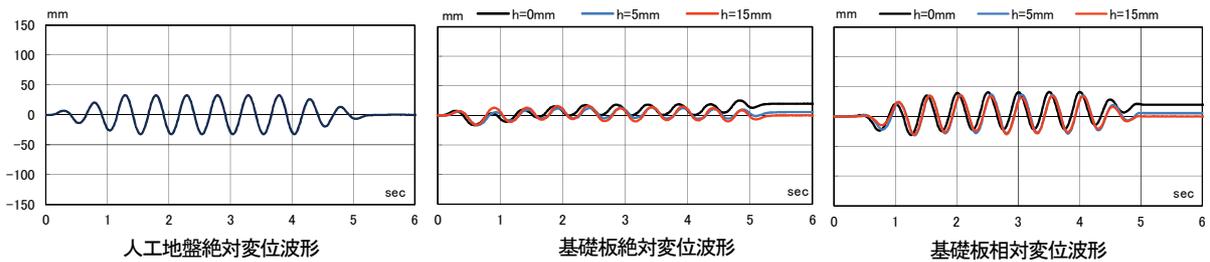


図8 定常波(2Hz)加振時の絶対変位波形、相対変位波形

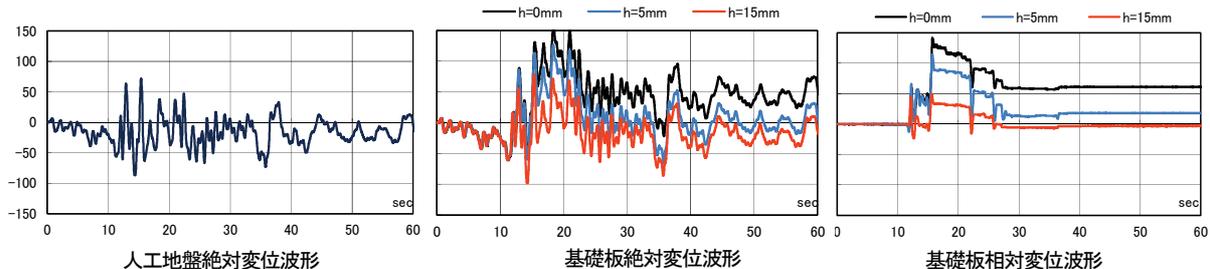


図9 非定常波(El-Centro)加振時の絶対変位波形、相対変位波形

4. まとめ

以上、本報により得られた知見を以下にまとめる。  
 (1)基礎板の加速度は高低差の大きさにかかわらず、入力加速度  $600 \text{ cm/sec}^2$  に対し、 $150 \sim 200 \text{ cm/sec}^2$  程度で頭打ちとなることが確認できた。また、波の特性にもあまり影響されない。  
 (2)高低差の無い試験体に比べて高低差を施した試験体の絶対変位、相対変位および残留変位が相対的に小さいことから、高低差は絶対・相対・残留変位を抑制する効果があると言える。また、高低差の大きさは変位の抑制の度合いに概ね比例する。  
 (3)摩擦係数は、高低差が大きい程、やや高目になるが、いずれの場合も 0.2 以下であり、15mm 程度の高低差は摩擦係数に与える影響は小さい。

【参考文献】

- 1)曾田五月也ほか：滑り基礎構造の応答加速度抑制効果に関する実験的研究, AIJ 大会, B-2, pp.357-358, 2008.9
- 2)特開 2008-101451：建物の減震構造及び減震方法, 2008.5
- 3)松永正久：個体潤滑ハンドブック, 幸書房, 1982
- 4)国立医薬品食品衛生研究所：国際化学物質安全性カード (ICSC), ICSC 番号：0893

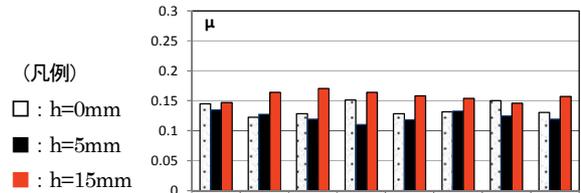


図15 摩擦係数(最頻値)

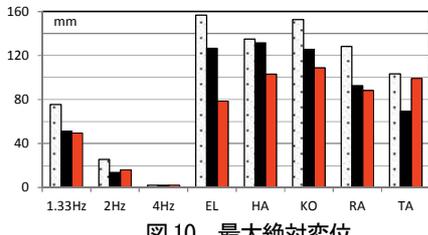


図10 最大絶対変位

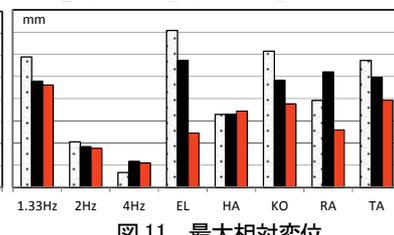


図11 最大相対変位

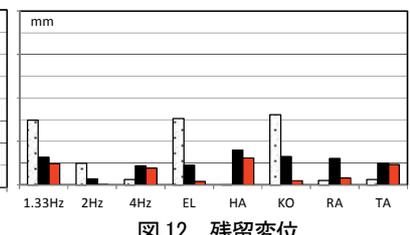


図12 残留変位

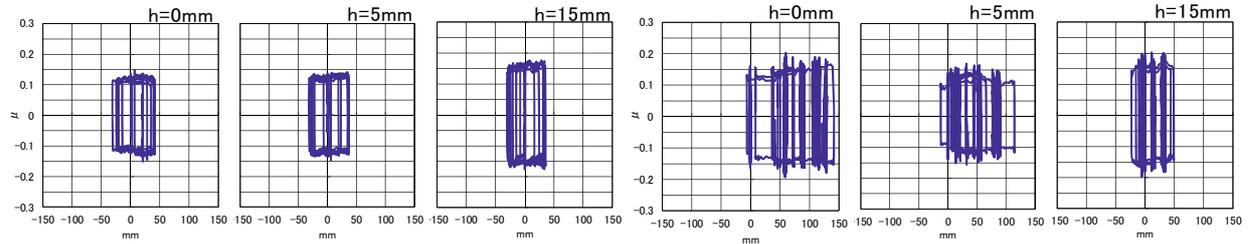


図13 摩擦係数-相対変位関係図(定常)

図14 摩擦係数-相対変位関係図(非定常)

表3 計測加速度一覧

波形名	0mm		5mm		15mm	
	地盤	基礎	地盤	基礎	地盤	基礎
1.33Hz85mm	767	173	901	170	740	198
2Hz38mm	603	148	750	144	737	173
4Hz9.5mm	865	156	748	143	778	189
ELCENTRO	557	199	618	167	539	198
HACHINOHE	535	207	538	165	524	212
KOBE	511	186	500	154	526	182
RANDOM	535	189	499	168	550	199
TAFT	576	193	574	174	580	209

表4 最大絶対変位一覧

波形名	0mm	5mm	15mm
	1.33Hz85mm	75	51
2Hz38mm	25	17	16
4Hz9.5mm	8	19	18
ELCENTRO	157	127	98
HACHINOHE	153	125	109
KOBE	128	121	100
RANDOM	103	85	99
TAFT	135	132	103

表5 最大相対変位一覧

波形名	0mm	5mm	15mm
	1.33Hz85mm	118	96
2Hz38mm	41	37	35
4Hz9.5mm	14	23	22
ELCENTRO	141	114	49
HACHINOHE	66	66	69
KOBE	123	97	75
RANDOM	79	104	52
TAFT	114	99	79

表6 残留変位一覧

波形名	0mm	5mm	15mm
	1.33Hz85mm	60	25
2Hz38mm	20	6	0
4Hz9.5mm	5	18	15
ELCENTRO	61	18	3
HACHINOHE	0	32	25
KOBE	65	26	4
RANDOM	4	24	6
TAFT	5	20	19