

5. 屋外暴露後10年が経過した実大滑り基礎の性能確認

Loading Experiment on a Full-Scale Sliding Foundation after 10 Years of Exposure

土田堯章* 波田雅也* 柳田佳伸* 竹内健一**

ー概要ー

当社独自工法である“滑り基礎構造（図1）”は、コンクリート製の人工地盤と基礎板（べた基礎）との間に安価で摩擦係数の小さな摩擦材（黒鉛粉末）を塗布することにより、大地震時に上屋建物へ入力される加速度が低減される構造形式である。2013年10月に、当社技術研究所の屋外ヤードにて2階建てRC造戸建住宅を想定した8m×8m角の実大滑り基礎構造の施工および加力実験を実施し、実際の施工性および滑り性状を確認した¹⁾。この実大滑り基礎は、実験後にメンテナンスや解体・撤去をすることなく、屋外に暴露された状態であった。

本報では、滑り性状の経年変化を確認することを目的として、屋外暴露10年が経過した実大滑り基礎に対して、10年前と同じ条件で実施した加力実験²⁾について示したものである（写真1）。

ー技術的な特長ー

実験結果一覧を表1に、摩擦係数と滑り変位の関係を図2に示す。図中の黒線が施工当時（2013.11）、赤線が10年後（2023.11）の結果であり、摩擦係数は滑り荷重を上屋重量で除して算出している。図2より、10年後の履歴形状は、施工当時と比べて第二象限の摩擦係数が大きくなっているものの、それ以外はほぼ同じ形状であり、安定した滑り性状を発揮していることがわかる。履歴面積を滑り変位量で除した平均摩擦係数は、施工当時に比べて7.1%上昇（施工当時：0.19⇒10年後：0.20）したが、±10%未満の変化に留まっている。また、原点位置における切片摩擦係数は暴露10年前後で変化無く0.15のままであり、最大摩擦係数は施工当時に比べて3.4%上昇したが10年後も0.30未満であった。

以上のことから、実大滑り基礎は、暴露10年後も安定した滑り性能を発揮することが分かった。

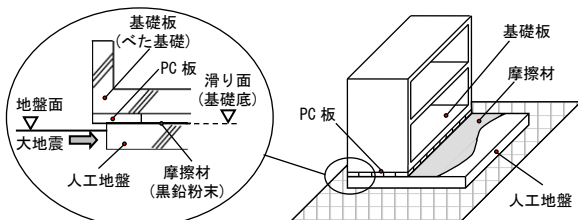


図1 滑り基礎構造の構成



写真1 暴露10年後の実大滑り基礎の加力実験

表1 実験結果一覧

名称	上屋重量 [kN]	最大変位		最大荷重		切片荷重		平均荷重 [kN]	摩擦係数		
		正側 [mm]	負側 [mm]	正側 [kN]	負側 [kN]	正側 [kN]	負側 [kN]		最大	切片	平均
施工当時	1319	209	-202	312	-373	196	-211	250	0.283	0.154	0.190
10年後	1371	218	-217	401	-365	219	-198	279	0.292	0.152	0.203
10年後／施工当時									103.4%	98.6%	107.1%

※1 加力条件：振幅±200mm、速度10mm/s一定、繰返し2サイクル、面圧21kN/m²程度
 ※2 平均荷重は2サイクルの履歴面積（累積エネルギー吸収量）を滑り変位量で除した値
 ※3 摩擦係数＝滑り荷重／上屋重量
 ※4 最大摩擦係数は正負（絶対値）の最大値 ※5 切片摩擦係数は正負（絶対値）の平均値

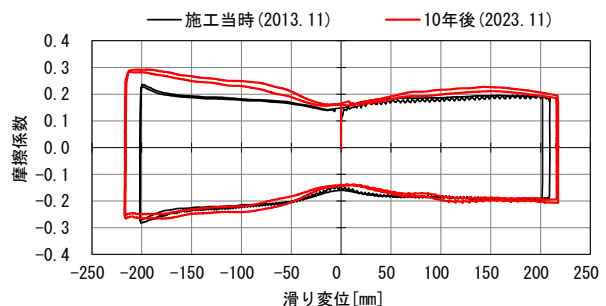


図2 摩擦係数－滑り変位関係

- 1) 柳田、波田、北嶋ほか：黒鉛を摩擦材とした滑り基礎構造に関する研究（その7 実大施工実験と滑り性能確認実験），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.491-492，2014.9
 - 2) 土田、波田、北嶋ほか：黒鉛を摩擦材とした滑り基礎構造に関する研究（その9 暴露10年が経過した実大滑り基礎の加力実験），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.833-834，2024.8
- ※本報は、文献2)に加筆し再構成したものである。

屋外暴露後10年が経過した実大滑り基礎の性能確認 Loading Experiment on a Full-Scale Sliding Foundation after 10 Years of Exposure

○土田 亮章* 波田 雅也* 柳田 佳伸* 竹内 健一**
Takaaki TSUCHIDA Masaya HADA Yoshinobu YANAGITA Kenichi TAKEUCHI

ABSTRACT The sliding foundation is a structure in which a reinforced concrete slab is placed on top of an artificial concrete foundation whose surface is coated with graphite powder, which has a low coefficient of friction. In October 2013, construction and loading experiments were carried out outdoors on a full-scale sliding foundation structure measuring 8m x 8m, simulating a two-story RC-constructed detached house. After the experiment, this full-scale sliding foundation was left exposed to the outdoors without any maintenance. This report describes the loading experiment carried out under the same conditions as 10 years ago, with the aim of confirming the changes in sliding properties over time.

Keywords :滑り基礎, 実大実験, 黒鉛粉末, 摩擦係数, 暴露, 経年変化

Sliding Foundation Buildings, Loading Experiment on a Full-Scale, Graphite Fatigue, Coefficient of Friction, Exposure, Aging Effect

1. はじめに

本研究は、コンクリート製の人工地盤と基礎板(べた基礎)との間に安価で摩擦係数の小さな摩擦材(黒鉛粉末)を塗布することにより、大地震時に建物へ入力される加速度が低減される“滑り基礎構造(図1, 2)”に関するものである。これまでの研究^{1), 2)}により、黒鉛粉末を摩擦材とした滑り

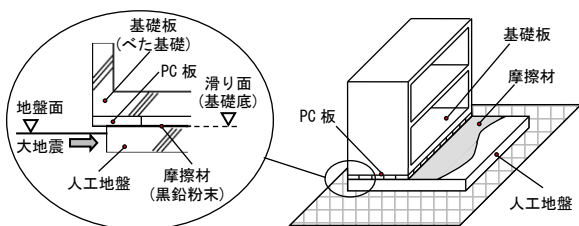


図1 滑り基礎構造の構成

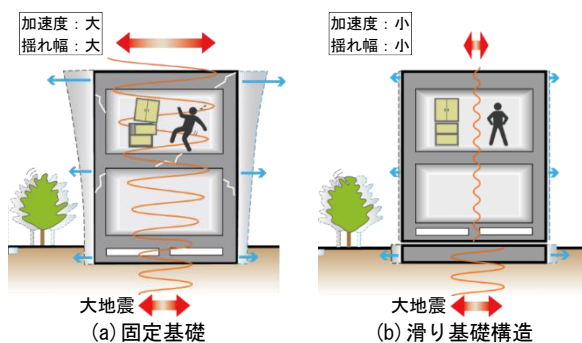


図2 滑り基礎構造の応答低減効果

基礎の摩擦係数は0.15~0.20程度であり、滑り速度や面圧に依存しないこと、滑り面にすり鉢状のテーパーを設けることで滑り変位の片流れ(ドリフト)現象を抑制できるなどの知見が得られている。2013年10月に、2階建てRC造戸建住宅を想定した実大規模(8m×8m)のテーパー付き滑り基礎構造の試験体(以降、実大滑り基礎)を屋外で施工し、加力実験によって滑り性状が確認されている。実大滑り基礎は、実験後に解体・撤去することなく、屋外に暴露された状態であった。

本報では、滑り性状の経年変化を確認することを目的として、屋外暴露10年が経過した実大滑り基礎に対して、10年前と同じ条件で実施した加力実験について示す。

2. 実大滑り基礎の概要と暴露状況

実大滑り基礎は、平面寸法 8m×8m(=64m²)、高さ 0.65m(人工地盤:0.30m, 基礎板:0.35m)である。滑り面となる人工地盤上面に 30g/m²の黒鉛粉末が塗布されている。施工の手順や状況写真は文献²⁾のその7(AIJ大会2014)を参照されたい。

*技術研究所 構造研究部

**建築生産本部 設計部

実大滑り基礎は2013年10月に施工し、滑り性状を確認する加力実験を行った後(写真1)、残留変位の原点復旧方法の確認(写真2)や、基礎板の周囲(南、北、西面)を天端まで埋戻し土で覆った場合の滑り性状の検討(写真3)を行った。その後は一切の防水対策やメンテナンスを施すことなく、写真4に示す様に、東方向に残留変位が約40mmある状態(写真4(b))で、2013年11月から今回の実験(2023年11月)まで約10年に渡って屋外に暴露されていた。

なお、施工場所は、当社技術研究所(茨城県つくば市)の屋外ヤード内で、周辺に屋根の無い雨ざらしの条件である。

3. 暴露10年後の性能確認実験

加力実験のセットアップを図3に、実験状況を写真5に示す。10年後の加力実験は、施工当時(暴露開始時)と同様に屋外の現地にて、人工地盤側面に反力用の架台を取り付け、2台の油圧ジャッキ(同一油圧)によって基礎板を東西方向(西側を正)に直接押し引きする方法で行った。

上屋重量1,371kNは、基礎板と水槽3台および水槽の貯水の総重量であり、滑り面の面圧 $21.4\text{kN/m}^2 (=1,371\text{kN}/64\text{m}^2)$ は、およそ2階建てRC造建物に相当する。なお、基礎板の重量(538kN)は単位体積あたり 24kN/m^3 として算出し、水槽3台の重量(127kN)は規格値を採用し、

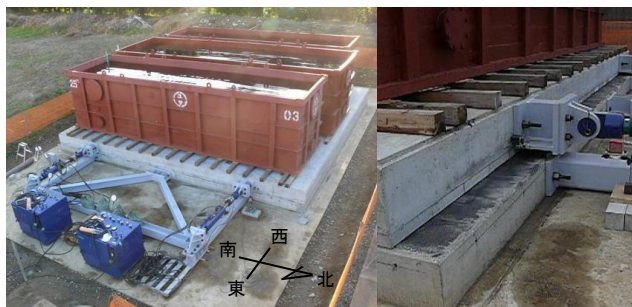


写真1 実大滑り基礎 加力実験状況（施工当時）

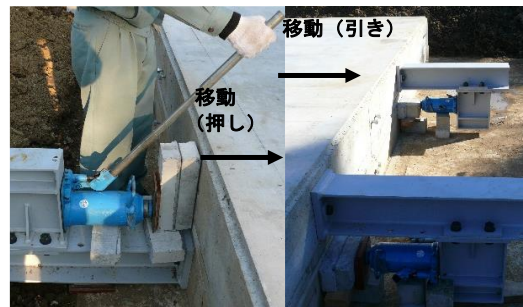


写真2 原点復帰方法の検証状況（施工当時）

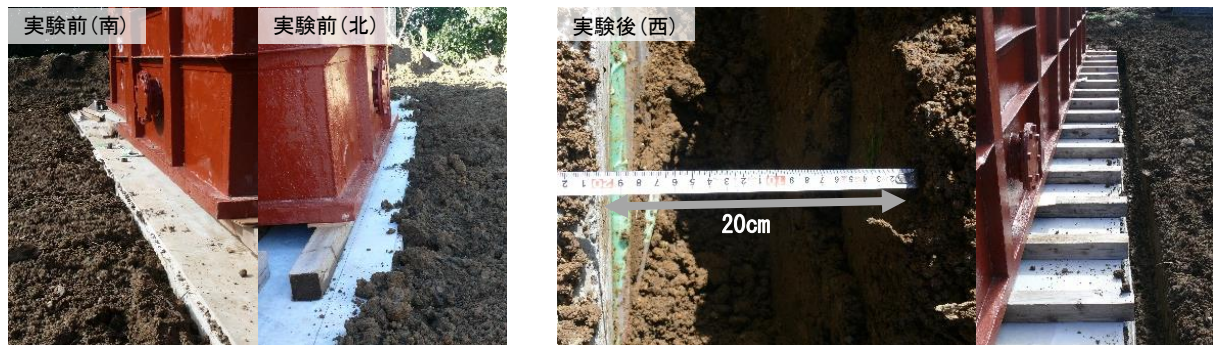


写真3 盛土が滑り性状に及ぼす影響の検証状況（施工当時）



写真4 実大滑り基礎の暴露状況（10年後）

貯水の重量(706kN)は実測した水位から求めた体積に 9.8kN/m^3 を乗じて算出した。

加力スケジュールは振幅 $\pm 200\text{mm}$ を正負交番に2サイクル、加力速度は 10mm/s 程度とした。

計測項目は滑り荷重と滑り変位(人工地盤と基礎板の相対変位)とし、各油圧ジャッキ先端に取り付けたロードセルと、巻き取り式変位計によって計測した。

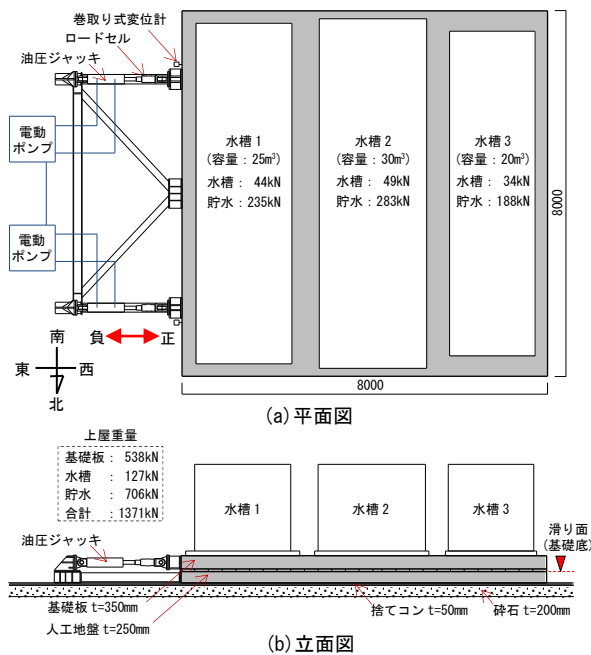


図3 加力実験のセットアップ



写真5 暴露10年後の実大滑り基礎の加力実験

4. 性能確認実験の結果

4.1 滑り荷重－滑り変位の関係

実験結果一覧を表1に、滑り荷重と滑り変位の関係を図4に、摩擦係数と滑り変位の関係を図5に示す。図中の黒線が施工当時(2013.11)、赤線が10年後(2023.11)の結果であり、摩擦係数は滑り荷重を上屋重量で除して算出している。

図4と図5より、10年後の履歴形状は、施工当時と比べて第二象限の摩擦係数が大きくなっているものの、それ以外はほぼ同じ形状であり、安定した滑り性状を発揮していることがわかる。履歴面積を滑り変位量で除した平均摩擦係数は、施工当時に比べて7.1%上昇(施工当時: $0.19 \Rightarrow$ 10年後: 0.20)したが、 $\pm 10\%$ 未満の変化に留まっている。また、原点位置における切片摩擦係数は暴露10年前後で変化無く 0.15 のままであり、最大摩擦係数は施工当時に比べて3.4%上昇したが10年後も 0.30 未満であった。

表1 実験結果一覧

名称	上屋重量		最大変位		最大荷重		切片荷重		平均荷重	摩擦係数		
	正側	負側	正側	負側	正側	負側	正側	負側		最大	切片	平均
施工当時	1319	209	-202	312	-373	196	-211	250	250	0.283	0.154	0.190
10年後	1371	218	-217	401	-365	219	-198	279	279	0.292	0.152	0.203
10年後/施工当時										103.4%	98.6%	107.1%

※1 加力条件: 振幅 $\pm 200\text{mm}$ 、速度 10mm/s 一定、繰返し2サイクル、面圧 21kN/m^2 程度
 ※2 平均荷重は2サイクルの履歴面積(累積エネルギー吸収量)を滑り変位量で除した値
 ※3 摩擦係数=滑り荷重/上屋重量
 ※4 最大摩擦係数は正負(絶対値)の最大値 ※5 切片摩擦係数は正負(絶対値)の平均値

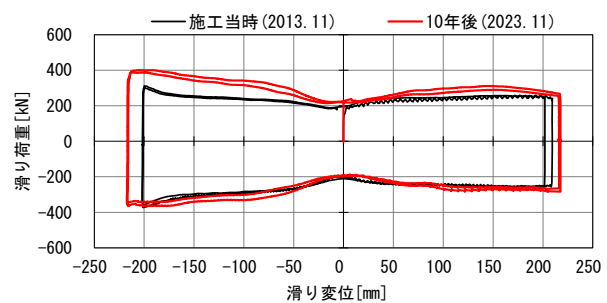


図4 滑り荷重－滑り変位関係

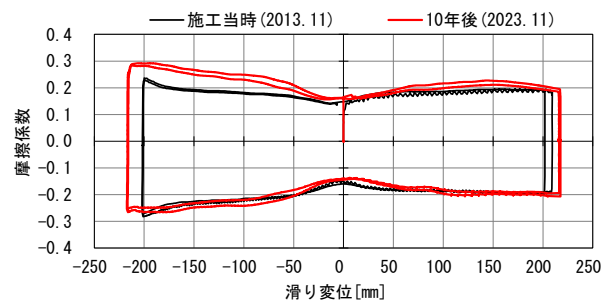


図5 摩擦係数－滑り変位関係

4.2 滑り面の状態

10年後の滑り面の状態を写真6(a)～(e)に示す。加力中に露わとなる範囲を目視観察すると、西側の滑り面は土が混入し、水で濡れた状態となっていた(写真6(b), (c))。土は施工当時に埋戻し土の影響を検証した際に混入し、水は残留変位により人工地盤上面が露出していた箇所から雨水等が混入したものと考えられる。また、東側には土や水は混入しておらず、滑り面の状態に特異な変化は観察されなかった(写真6(a), (d), (e))。即ち、東側の様に防水処理せずとも滑り面は殆ど状態変化しないこと、西側の様に一部が土や水の混入する状態であっても滑り性状への影響は小さいことが分かった。

5. まとめ

本報では、暴露開始から10年が経過した実大滑り基礎に対して、滑り性状の経年変化を確認することを目的とした加力実験を行った。実験の結果、10年後の平均摩擦係数は暴露開始時に比べて7.1%の上昇に留まり、切片摩擦係数はほぼ変化せず、最大摩擦係数は0.30未満であった。また、滑り面は、防水処理せずとも状態変化しないこと、土や水が混入しても滑り性状への影響は小さかった。以上のことから、実大滑り基礎は、暴露10年後も安定した滑り性状を発揮することが明らかとなった。

【参考文献】

- 1) 北嶋, 波田ほか: 滑り基礎構造の地震入力低減効果に関する基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.313-314, 2010.9
- 2) 北嶋, 波田ほか: 黒鉛を摩擦材とした滑り基礎構造に関する研究(その1～9), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.527-532, 2012.9, pp.573-576, 2013.8, pp.489-492, 2014.9, pp.549-550, 2015.9, pp.833-834, 2024.8



写真6 滑り面の状態(10年後)