

新たな増し杭工法による補強効果に関する遠心模型実験¹
Centrifuge model test on the reinforcement effect on the new additional
pile system

田中 雅大² 摂南大学大学院 理工学研究科
寺本 俊太郎 摂南大学理工学部 都市環境工学科

TANAKA, Masahiro Graduate School of Science and Engineering,
Setsunan University

TERAMOTO, Shuntaro Department of Civil and Environmental Engineering,
Setsunan University

Abstract

There are two problems, construction problems and planning problems when performing the additional pile system, but in order to solve the construction problems first, we focused on the joining conditions of the old and new foundations, and did not lift the main muscles of the footing so that construction could be easy. We aim to develop a rational construction method that only requires surrounding the existing footing. Furthermore, by elucidating the load-sharing mechanism of the new foundation using the existing pile and the pile, we will establish a design method for the increased pile construction method. In addition, by covering the footing of the existing foundation with a steel outer shell, it is possible to reduce the occupied area at the time of construction, We will also examine the usefulness of a structural format that integrates the footings without joining each other by increasing the number of steel frame construction guides and embedding them in the footing.

In this research, we conducted a 50 G field static horizontal loading experiment that makes it possible to reproduce the same self-weight stress state as the real thing. In combination with the knowledge obtained from the previous centrifugal loading model test, we aim to elucidate the influence of the joining conditions of the existing piers and the upper surface of the steel outer shell of the proposed new pile construction method on the load-sharing mechanism of the existing pile and the additional pile

キーワード: 増し杭工法, 群杭, 群杭効果, 静的水平載荷実験, 遠心模型実験

Keywords : additional pile system, group pile, group pile effect, static horizontal loading experiment, centrifuge model test

¹ 【原稿受付】2022年9月12日、【掲載決定】2023年1月7日

²【主著者連絡先】 田中 雅大 摂南大学大学院、学生 e-mail: 22m204tm@edu.setsunan.ac.jp

1. 研究の背景および目的

1-1 我が国の防災対策

我が国日本は、平野部に軟弱な沖積地盤が広く分布しており、世界規模で見たときに地震による被害が多い地震大国である。既往の大地震の中では、特に 1995 年に発生した阪神淡路大震災において、地震動による大きな外力により構造物の部材がせん断破壊され、橋脚が崩れるなどの被害が発生しており、当時の設計基準では、L2 地震動（発生すれば甚大な被害をもたらすおそれがある地震によって発生する揺れのこと）のような大きな地震動に対して必ずしも耐力が保証できないことが明らかになった。これにより、道路橋示方書が大幅に改訂され、構造物にはより高い耐震性能が求められるようになったり。また、現行の設計基準への対応のみならず、最近では既存上部工の拡幅や高度経済成長期のコンクリート構造物の寿命によるリニューアル等の需要も増加しており、耐震補強の必要性が今後さらに増加すると予想されている。

構造物の耐震性能の向上を目指すにあたり、上部工を支える基礎の耐震補強も必要不可欠である。そのため、基礎の支持力が不十分とされた既設構造物の支持力補強を目的とし、さまざまな耐震補強が施工されている。その基礎における耐震補強手法には、基礎構造の補強により支持力を増加させる方法と、地盤改良などにより基礎の支持力を増加させる方法があるが、一般的には、前者のほうが基礎構造に対する補強が確実かつ経済的であるとされている。

1-2 増し杭工法の問題点

本研究が対象とする増し杭工法は、上記のうち基礎構造の補強による耐震補強を目的としており、図 1 のように既設基礎の周囲に新設基礎を構築、一体化する工法である。既設基礎と新設基礎を一体化し、既設基礎を再利用していることで、新設基礎の規模縮小が図れ、建設費用の低減が可能になる。しかし、この増し杭工法にも問題があり、次に示す施工上の問題と設計上の問題に分けられる。施工上の問題とは、増し杭工法を施工するにあたって、既設基礎と新設基礎が一体となり、水平および鉛直荷重を支持する必要があるため、既存フーチングと新設フーチングを接合する必要がある。現状は既存フーチングと新設フーチングの接合施工には、多大な労力と時間、費用がかかることが問題となっている。また、既存構造物の基礎は耐力が不十分なため、補強をしなければならない場合が多い。その際、増し杭工法の施工時において既存構造物は供用期間中である場合が多く、隣接する建物がある場合は、一体化の施工領域は狭いことから数多くの制約を受ける。設計上の問題とは、増し杭工法の設計を行う際に地盤中の群杭効果を考慮しなければならない。群杭効果とは、杭―地盤―杭の相互作用を意味しており、この作用によって群杭内の各杭は単杭とは異なる挙動を示すため、支持力や荷重分担機構が不明瞭となる。そのため現行の設計では、構造物自重や地震時の荷重を増し杭のみで受け持つという過剰設計な形で対応せざるを得ず、合理的な設計方法が確立されていない。

1-3 研究目的

増し杭工法を行うにあたって上記の 2 つの問題が挙げられるが、はじめに施工上の問題点を解決すべく、新旧基礎の接合条件に着目し、施工が容易にできるようにフーチングの主筋をはつり出さず、既存フーチングを囲むだけで済む合理的な工法の開発を目指す。また、既設基礎のフーチングを鋼製外殻で覆うことで施工時の占有領域の縮小を可能とし、鉄骨造ガイドを増しフーチ

ングに埋め込むことでフーチング同士を接合施工せずに一体化を図る構造形式の有用性についても検討する。さらに、既設杭と増し杭による新設基礎の荷重分担機構の解明を行うことで、合理的な増し杭工法の設計方法を確立する。

本稿では、実物と同様の自重応力状態を再現することが可能となる 50 G 場静的水平載荷実験を実施した。既往の遠心載荷模型実験¹⁶⁾とは、実験ケースが一部異なり、既往の遠心載荷模型実験¹⁶⁾で得られた知見と合わせ、提案する新たな増し杭工法の既設橋脚及び鋼製外殻上面部の接合条件が既設杭と増し杭の荷重分担機構に及ぼす影響の解明を目指す。

2. 実験概要

本実験で用いる遠心模型実験では、実物との縮尺が $1/N$ 倍の模型を重力加速度が N 倍の遠心場に設置することにより、模型内で実物と同様の自重応力状態を再現することが可能となる。したがって、遠心載荷装置を用いると、幾何学的相似則と力学的相似則を同時に満足させることができ、縮尺模型に実物と同様の挙動を期待することが可能である。表 1 に N G 場における模型と実物の主な相似則を示す。実物大に換算したときの値をプロタイプ値とする。本実験では、フーチング同士の結合を必要とせず、施工性、経済性に優れた増し杭工法を提案し、50 G 場静的水平載荷実験を実施した。既設基礎のフーチングを鋼製外殻（写真 1）で覆うことで施工時の占有領域の縮小を可能とし、鉄骨造ガイドを増しフーチングに埋め込むことでフーチング同士を接合施工せずに一体化を図る構造形式（図 2）の有用性についても検討した。

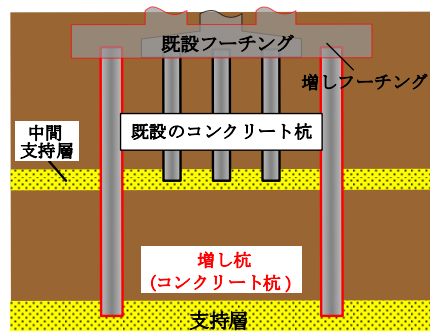


図1 増し杭工法概要図

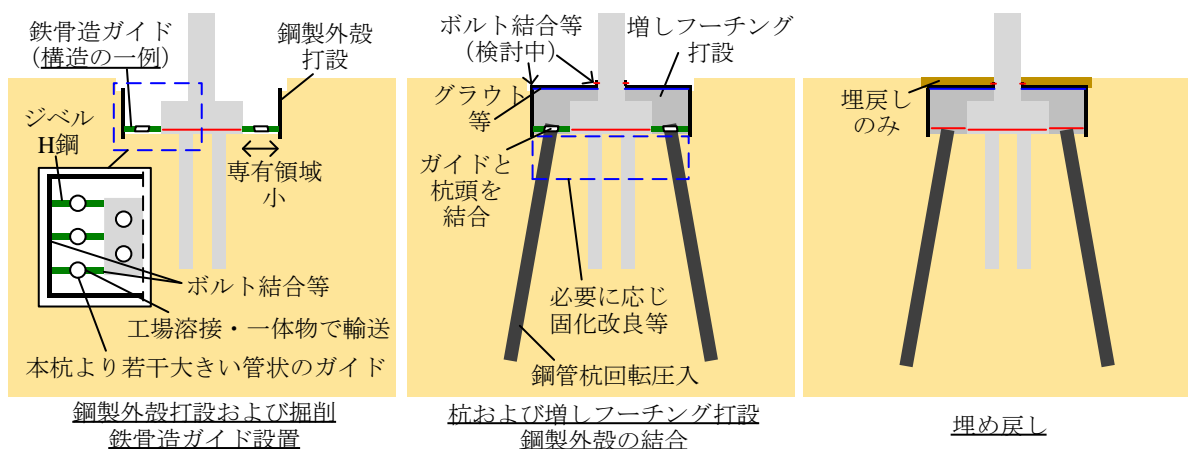


図2 提案する構造形式

表 1 遠心加速度 NG 場における相似則

	実物	遠心模型
長さ・変位	1	$1/N$
面積	1	$1/N^2$
体積	1	$1/N^3$
応力	1	1
ひずみ	1	1
力	1	$1/N^2$
時間 (圧密現象)	1	$1/N^2$
時間 (動的現象)	1	$1/N$

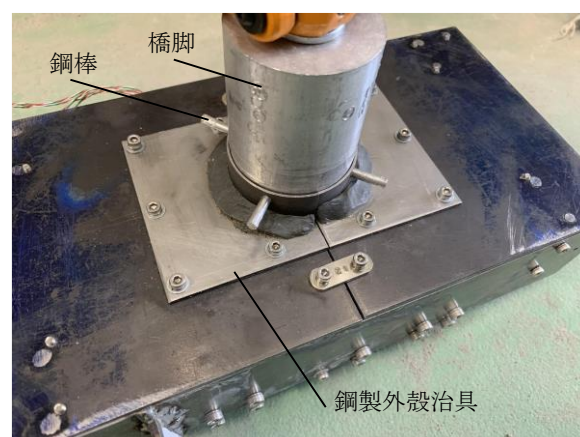
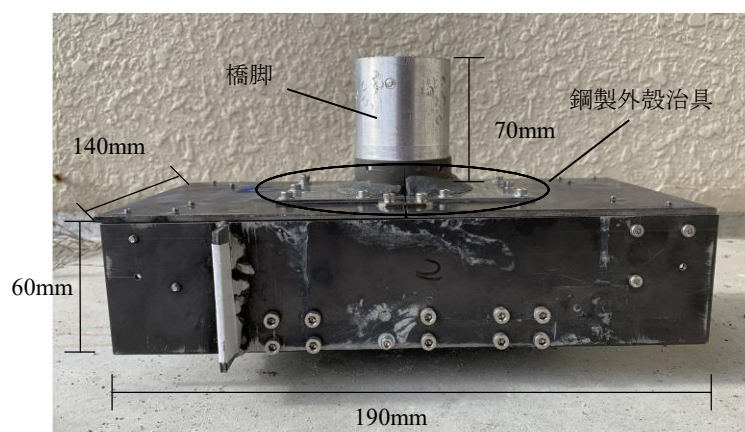


写真 1 鋼製外殻

2-1 載荷装置

杭への水平載荷は、モーター駆動の載荷装置を用いて行う。水平荷重の載荷位置は、増しフーチング上面位置から 70 mm の高さとなる橋脚模型の上面部とし、表 2 の載荷ステージに従って 0.5 mm/min で載荷する。最大荷重は、道路橋示方書による耐震性能照査のひとつである地震時保有水平耐力法を用いた。各部の重量の実設計を参考にし、橋脚：上部工：フーチングを $1:1:3$ と設定した。これに地震によって作用する水平方向の動的な慣性力を静的な荷重に置き換えるため、地震力を算出する際に用いる L2 設計水平地震動 kh （フーチング： 0.4 ，橋脚および上部工： 0.44 ）に各部の重量を乗じることにより決定した。

2-2 鋼製外殻および鉄骨造ガイド

鋼製外殻は、従来工法における土留および型枠の代わりに使用することで、占有領域の縮小が期待される。実構造では板厚 20 mm を想定しているが模型実験では $1/50$ の縮尺で模型を製作するため板厚 0.4 mm となる。しかし、板厚 0.4 mm ではネジ穴加工することが非常に困難であるため模型の板厚を 2 mm と設定した。つまり、模型で使用する外殻のほうが想定する実構造より剛性が強くなる。また、鉄骨造ガイド（写真 2）を鋼製外殻の内側に設置し、外側からねじで取り付ける。

鉄骨造ガイドは冷間圧延鋼板（SPCC）を用い、板厚を 1.6 mm として断面二次モーメントを算定し、実構造の断面二次モーメント値と等しくなるように高さを 11.7 mm と設定した。

2-3 橋脚および橋脚の接合条件

接合条件は橋脚を鋼製外殻治具で覆い、上部をアルミ合金製の鋼棒で固定し、下部は 10 箇所をネジで固定している（鋼棒あり）。非接合条件では鋼棒による固定を行わない（鋼棒なし）こととし、それら条件の違いによる影響を比較する。なお、実構造においては、既設フーチングの主鉄筋をはつり出し、増しフーチングの主鉄筋と接合することによって、両基礎の一体性が確保されている。

2-4 実験模型諸元

用いた杭、フーチング、橋脚、鋼製外殻、鉄骨造ガイドの物性値を表 3、表 4、表 5、表 6、表 7 に示す。模型杭は、アルミニウム製、杭径 18 mm、杭長 270 mm であり、ヤング率は 1 点支持（杭先端）1 点載荷（杭頭）の曲げ試験結果より 70600 MPa である。

2-5 杭の設置方法

豊浦乾燥砂を用いていることから、地盤を乱さずに地盤中に杭を埋め込み、底面に固定することは技術上不可能であるため、杭があらかじめ設置された状態で空中落下法によって地盤を作製する。模型杭は、金属製の固定治具を用いて、土槽底面に杭先端が固定された状態で設置する。空中落下法においてフーチングの真下の地盤も均一に作製するために、地盤作成後にフーチングと杭頭を一体化する手順をとる必要がある。一体化の方法として、杭頭部にはネジを切った金属製のキャップ（写真 3）を取り付けておき、キャップを介して杭頭とフーチングを混合式の強力な接着剤で固定する方法を用いた（図 3）。この方法によって、実験後にキャップごとフーチングから取り外すことが可能となり、すべての実験において同一の杭を使用することができ、実験の再現性が向上する。

2-6 実験ケース

図 4 に実験ケースの概要図、図 5 に実験模型の寸法、表 8 に実験ケースの条件を示す。両フーチングの接合条件の違いによる影響を明確化するために、Case1 は既設フーチングと増しフーチングを 1 つの型枠で作製することで一体化し、Case2 ～ 6 は両フーチング間に 1 mm の隙間が生じる寸法に設定した。Case1 は、既設フーチングと増しフーチングを同じ型枠で作製することにより一体化をした。実構造では型枠を設置し、増しフーチングを打設するため隙間は生じない。しかし、鉄筋の結合がないため新旧フーチング間の付着が切れる可能性を想定し、現実の条件より過度に設計している。Case3、Case4 では鋼製外殻を用いて、鋼製外殻と橋脚の接合条件を変えることで接合の有無による違いを検討している。接合には鋼棒を用いており、これは実構造における鋼製外殻上面部の側面と既設橋脚のボルト接合等を表現している。Case5-1、Case5-2、Case6 では鋼製外殻および鉄骨造ガイドを用い、橋脚接合の有無による違いを検討している。また、杭頭とフーチングの接合条件については Case1 ～ 4、Case5-2 は既設、増しフーチングともに接合されており、Case5-1、Case6 は既設フーチングのみ接合し増しフーチングは接合していない。Case5-1 と

Case5-2 の違いは、増しフーチングが杭頭と接合されているかである。

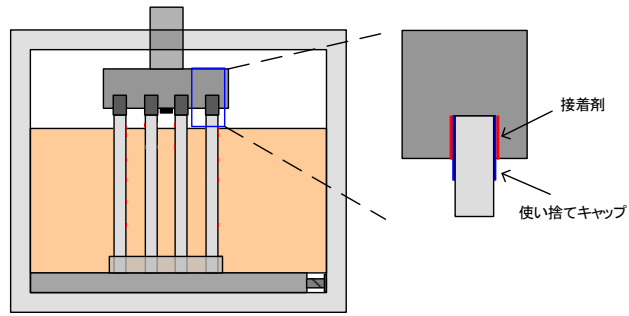


図3 杭の接合方法

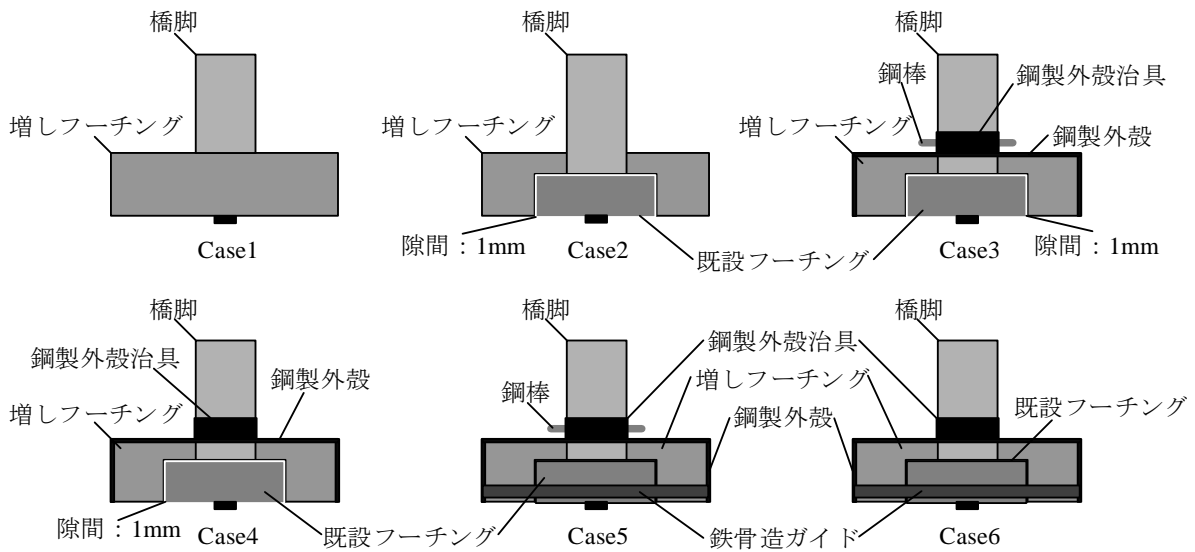


図4 実験ケースの概要図

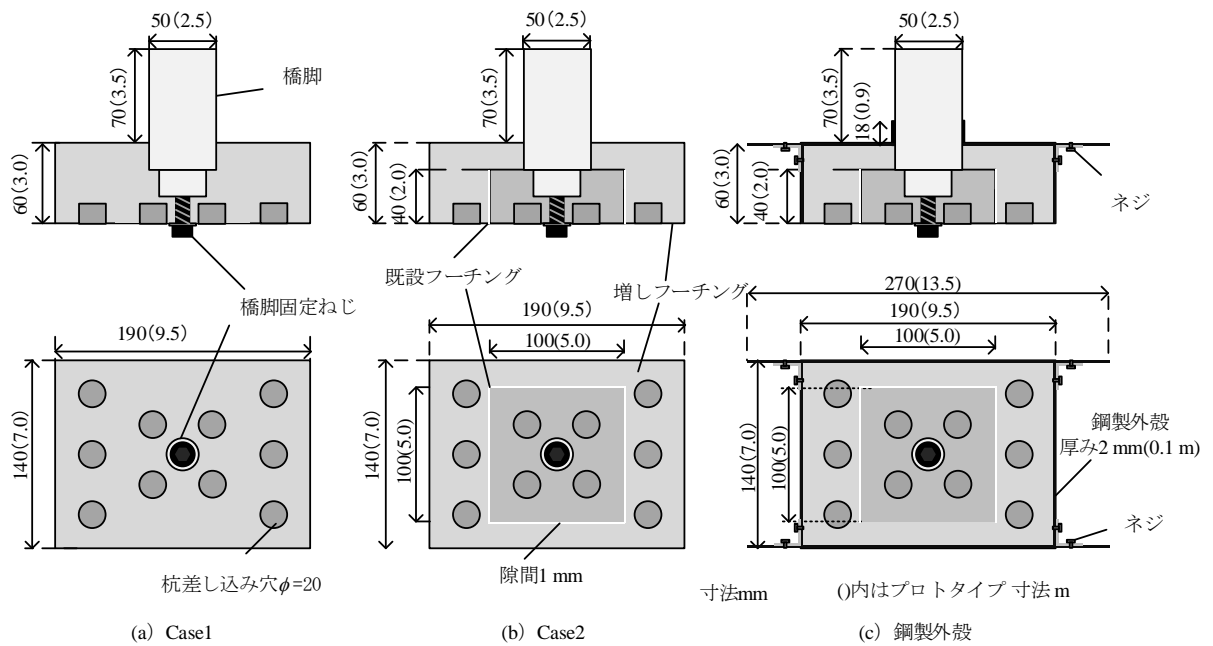


図5 実験模型の寸法

表 2 荷重ステージ

荷重 (N) (プロトタイプ (kN))	0 (0)	50 (125)	0 (0)	100 (250)	0 (0)	250 (625)	0 (0)	500 (1250)
載荷・除荷	載荷	除荷	載荷	除荷	載荷	除荷	載荷	除荷
	0 (0)	750 (1875)	0 (0)	1000 (2500)	0 (0)	1250 (3125)	0 (0)	
	載荷	除荷	載荷	除荷	載荷	除荷	終了	

表 3 杭 (アルミニウム) 物性値

	模型杭	プロトタイプ
ヤング率 E	7.06×10^7 [kN/m ²]	7.06×10^7 [kN/m ²]
杭径 D	18 [mm]	0.9 [m]
杭長 L	270 [mm]	13.5 [m]
断面二次モーメント I	5.15×10^{-9} [m ⁴]	3.22×10^{-2} [m ⁴]

表 4 フーチング (モルタル) 物性値

ヤング率 E [kN/m ²]	2.07×10^7
単位体積重量 γ [kN/m ³]	19.4
ポアソン比 ν	0.18

表 5 橋脚 (アルミニウム) 物性値

ヤング率 E [kN/m ²]	7.06×10^7
単位体積重量 γ [kN/m ³]	26.5
ポアソン比 ν	0.34

表 6 鉄骨造ガイド (SPCC) 物性値

ヤング率 E [kN/m ²]	2.06×10^8
単位体積重量 γ [kN/m ³]	77.0
ポアソン比 ν	0.30
断面二次モーメント I [mm ⁴]	213

表 7 鋼製外殻 物性値

ヤング率 E [kN/m ²]	1.92×10^8
単位体積重量 γ [kN/m ³]	7.85
ポアソン比 ν	0.33

表 8 実験ケースの条件

Case名	既設フーチングと 増しフーチングの接合条件	鋼製外殻の有無	鉄骨造ガイドの有無	鋼棒の有無	杭頭とフーチングの接合条件	
					既設フーチング	増しフーチング
Case1	接合あり	なし	なし	なし	接合あり	接合あり
Case2	接合なし	なし	なし	なし	接合あり	接合あり
Case3	接合なし	あり	なし	あり	接合あり	接合あり
Case4	接合なし	あり	なし	なし	接合あり	接合あり
Case5-1	接合なし	あり	あり	あり	接合あり	接合なし
Case5-2	接合なし	あり	あり	あり	接合あり	接合あり
Case6	接合なし	あり	あり	なし	接合あり	接合なし

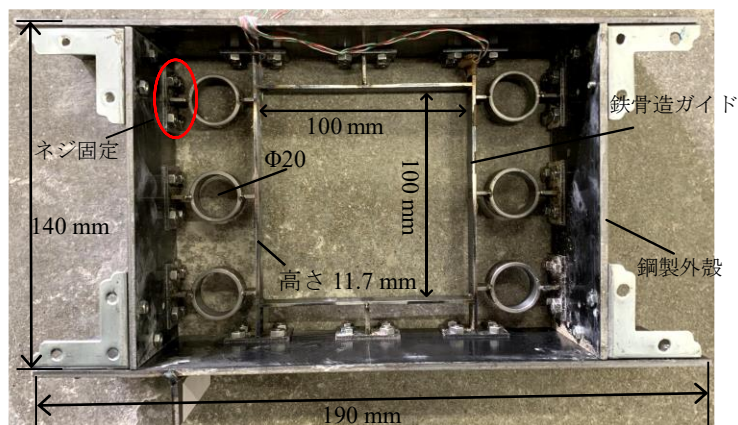


写真2 鉄骨造ガイドと鋼製外殻

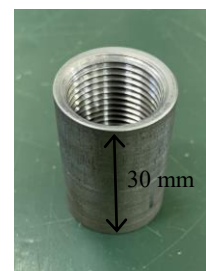


写真3 金属性のキャップ

3. 実験結果と考察

実験結果は、すべてプロトタイプ換算した値を用いて表記する。本実験では、Case1, Case2, Case5-2 は1回ずつ、Case3 は2回実験を行うことができた。その他のケースは今後実験を行う予定である。また、Case3-1 回目は、初期荷重段階において荷重変位関係の変位が適当でないと判断したため、625 kN（3 サイクル目）からの変位を用いるために原点補正を行い実線で示している。なお、杭の曲げモーメント分布は、ヤング率、断面係数、杭の対角位置の軸ひずみの差分より算出し、3 次スプライン関数で近似している。表3 のプロトタイプより、 $I=3.22 \times 10^{-2} \text{ m}^4$ 、 $D=0.9 \text{ m}$ から断面係数 Z は 0.072 m^3 となる。アルミニウムの0.2%耐力は 215 N/mm^2 であることから、降伏曲げモーメント M_y は $15,480 \text{ kNm}$ となる。したがって、本実験で使用した模型杭は降伏していないことがわかる。

3-1 新旧フーチング接合処理に関する実験的検討

本実験では図6の荷重変位関係（Case1）から分かるように漸増繰返し载荷を行っているが、ケース間の比較考察をしやすくするため、以降の図では各サイクルの最大変位を結んだ包絡線として結果を表記する。また、フーチング中央位置での荷重変位関係では、最大荷重時の変位のみ表記する。フーチング中央位置とは、フーチング底面より30 mmの位置であり、プロトタイプ換算値ではフーチング底面より1.5 mの位置である。

始めに、新旧フーチングの接合処理が荷重分担に与える影響と鋼製外殻が新旧フーチングの荷重分担に与える影響を調べるため、Case1, Case2 および Case3 の結果を比較する。また、既往の研究と同一形状の試験体を用い実験を行っている。

(1) 荷重変位関係

Case1, Case2, Case3 の載荷点位置での荷重変位関係を図7、フーチング中央位置での荷重変位関係を表9に示す。

最大荷重時におけるフーチング中央位置での変位は、Case1 は13.7 mm、Case2 は16.1 mmと同程度となった。最大荷重時におけるフーチング中央位置での水平剛性については、Case1 は 228.1 kN/mm 、Case2 は 194.1 kN/mm であった。既往の研究¹⁶⁾では、変位はcase1 が21.5 mm、case2 が22.5 mm であった。以上のことから、既往の研究¹⁶⁾の結果より変位量は減少したが既往

の研究¹⁶⁾と同様に Case1 と Case2 の変位は同程度であることが分かる。したがって、増しフーチングと既設フーチングが連続体であっても、間に隙間が空いていても全体の水平剛性に及ぼす影響が少ないことが分かる。Case3 の最大荷重時におけるフーチング中央位置での変位は、1 回目 8.74 mm, 2 回目 8.24 mm であった。最大荷重時におけるフーチング中央位置での水平剛性については、1 回目は 357.6 kN/mm, 2 回目は 379.2 kN/mm であった。Case3 は Case2 の約 0.5 倍変位していることが分かる。既往の研究¹⁶⁾では、Case3 の変位は 14.5 mm であり、既往の研究¹⁶⁾の Case1, Case2 と比べ、ともに約 0.7 倍変位している。このことより、既往の研究¹⁶⁾と同様にフーチング間における固定の有無よりも、鋼製外殻および橋脚基部の固定の有無の方が、新旧フーチング全体に及ぼす影響が大きいことが分かる。また、最大荷重時の載荷点位置での変位は、Case1 は 40.0 mm, Case2 は 58.0 mm, Case3 は 1 回目 30.5 mm, 2 回目 33.7 mm であった。

(2) 杭曲げモーメント分布

Case1, Case2 の載荷荷重 125 kN ~ 3125 kN の杭の曲げモーメント分布図を図 8, 図 9 に示す。

Case1 の最大荷重時における最大曲げモーメントは、pile10 < pile4 < pile2 < pile7 と前列から後列にかけて増加している。これは既往の研究¹⁶⁾と異なる結果となっている。Case2 の最大荷重時における最大曲げモーメントは、pile4 < pile10 < pile7 < pile2 と既設杭前側が最も小さく、増し杭前列、増し杭後列、既設杭後列の順に増加している。既往の研究¹⁶⁾では、Case1, Case2 の両 Case とともに前列から後列にかけて曲げモーメントが増加していた。したがって、本実験の Case1 は既往の研究¹⁶⁾結果と一致するが、Case2 は既往の研究¹⁶⁾結果と異なる結果となった。異なる原因として、既往の研究¹⁶⁾の Case2 は、本実験の Case2 と比べ、既設フーチングと増しフーチングの間に設けている隙間が既往の研究¹⁶⁾の Case2 の方が小さくなっていたためであると考えられる。これは、載荷した際に既設フーチングが回転することにより速い段階で隙間が埋まり、既往の研究¹⁶⁾の Case2 と Case1 は限りなく近い形状となっていたと考えられる。

3-2 鉄骨造ガイドの有無に関する実験的検討

鉄骨造ガイドが既設杭と増し杭の荷重分担機構に与える影響について調べるためそれぞれ鋼製外殻有で橋脚接合有の Case3 と鋼製外殻有、鉄骨造ガイド有、橋脚接合有、杭頭固定有の Case5-2 で比較する。また、既往の研究¹⁶⁾と同一形状の試験体を用い実験を行っているが、既往の研究¹⁶⁾の Case5 と Case5-2 は両ケースとも鉄骨造ガイドを用いて作製しているが、増し杭と鉄骨造ガイドとの接合条件が異なっている。Case5-2 では鉄骨造ガイドと増し杭は接着剤により接合されている。なお、既往の研究¹⁶⁾の Case5 を本稿では Case5-1 と記す。

(1) 荷重変位関係

Case3-1 回目, Case3-2 回目, Case5-2 の載荷点位置での荷重変位関係を図 10, フーチング中央位置での荷重変位関係を表 9 に示す。

Case5-1 の最大荷重時におけるフーチング中央位置での変位は 28.5 mm であり、Case5-2 の最大荷重時におけるフーチング中央位置での変位は 4.80 mm である。Case5-1 と Case5-2 を比較すると、Case5-1 は Case5-2 の約 5.9 倍変位していることがわかる。したがって、鉄骨造ガイドと増し杭を接合させることにより増しフーチングの回転が抑制され、水平剛性が向上したと考えられ

る。Case3 と Case5-2 の最大荷重時におけるフーチング中央位置での変位は、Case3 は 1 回目 8.74 mm, 2 回目 8.24 mm であり、Case5-2 は 4.80 mm である。Case5-2 は Case3 の 1 回目, 2 回目と比べ、約 0.5 倍変位している。最大荷重時におけるフーチング中央位置での水平剛性については、Case3-1 回目は 357.6 kN/mm, Case3-2 回目は 379.2 kN/mm であり、Case5-2 は 651.0 kN/mm であった。既往の研究¹⁶⁾では、Case3 は 14.5 mm, Case5-1 は 28.5 mm と約 2 倍変位している。既往の研究¹⁶⁾と結果が異なる理由として、鉄骨造ガイドと増し杭を固定していなかったが、本実験では、鉄骨造ガイドと増し杭を固定したためと考える。このことより、鉄骨造ガイドと増し杭を固定することで、水平剛性が向上することがわかる。また、Case5-2 の最大荷重時における載荷点位置での変位は、31.4 mm であり、Case3 の 1 回目は 30.5 mm, 2 回目は 33.7 mm である。これら 3 ケースが載荷点位置において同程度であるのに対し、フーチング中央位置では、Case5-2 は Case3 の 1 回目, 2 回目より約 0.5 倍となっておりフーチング中央位置から載荷点位置間で変位差が生じている。これは、橋脚をフーチング下面より固定する際に十分にできておらず、橋脚とフーチングが剛体となっていなかったことが原因と考えられる。

(2) 杭の曲げモーメント分布

Case3-1 回目, Case3-2 回目, Case5-2 の載荷荷重 125 kN ~ 3125 kN の曲げモーメント分布図を、図 11, 図 12, 図 13 に示す。

Case3-1 回目の最大荷重時における最大曲げモーメントは、pile4 < pile2 < pile10 < pile7 と既設杭前列が最も小さく、既設杭後列, 増し杭前列, 増し杭後列の順に増加している。Case3-2 回目の最大荷重時における最大曲げモーメントは、pile4 < pile2 < pile7 < pile10 と既設杭前列が最も小さく、既設杭後列, 増し杭後列, 増し杭前列の順に増加している。これは Case3-1 回目の結果とは増し杭の曲げモーメントの大小関係が異なっている。Case5-2 の最大荷重時における最大曲げモーメントは、pile4 < pile2 < pile10 < pile7 と既設杭前列が最も小さく、既設杭後列, 増し杭前列, 増し杭後列の順に増加している。これは Case3-1 回目の結果と同様の大小関係である。また、Case3-1 回目と Case5-2 の最大荷重時における最大曲げモーメントの値を比較すると、pile2, pile4 の既設杭は同程度であるが、pile7, pile10 の増し杭は Case3 より Case5-2 のほうが大きくなっている。これは、既往の研究¹⁶⁾とは異なる結果であり、鉄骨造ガイドと増し杭を固定したため、増しフーチングの回転が抑制されたことが関係していると考えられる。

表 9 最大変位（フーチング中央位置）

	最大変位 (mm)
Case1	13.70
Case2	16.10
Case3-1回目	8.74
Case3-2回目	8.24
Case5-2	4.80

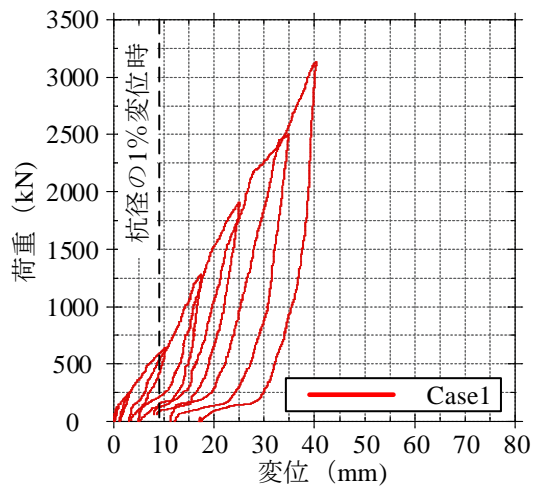


図 6 荷重変位関係 (Case1)

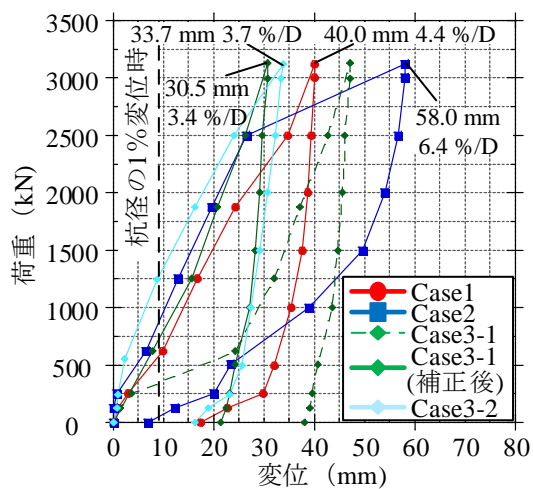
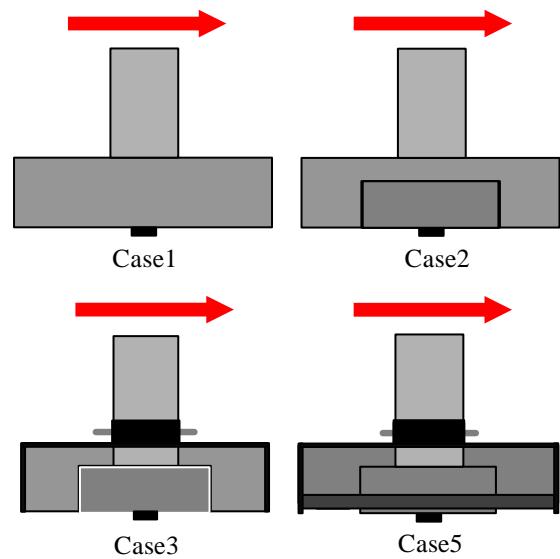


図 7 荷重変位関係 (載荷点位置)

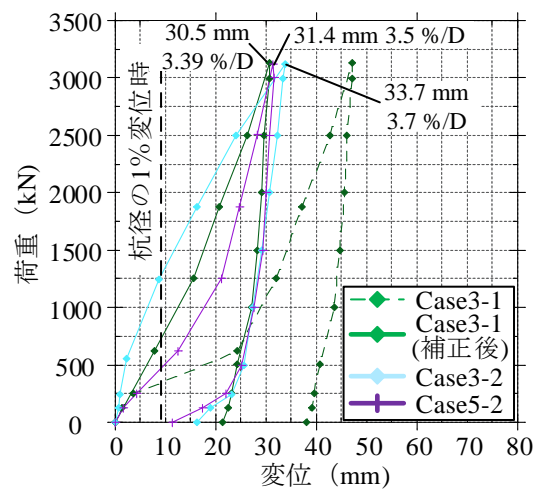


図 8 荷重変位関係 (載荷点位置)

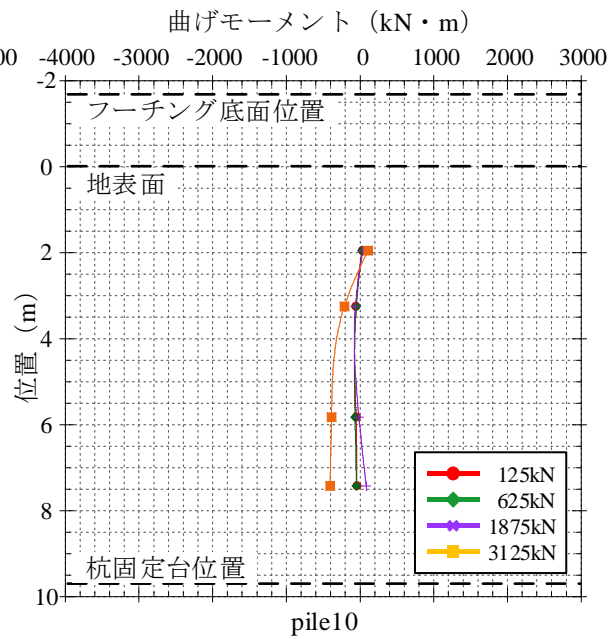
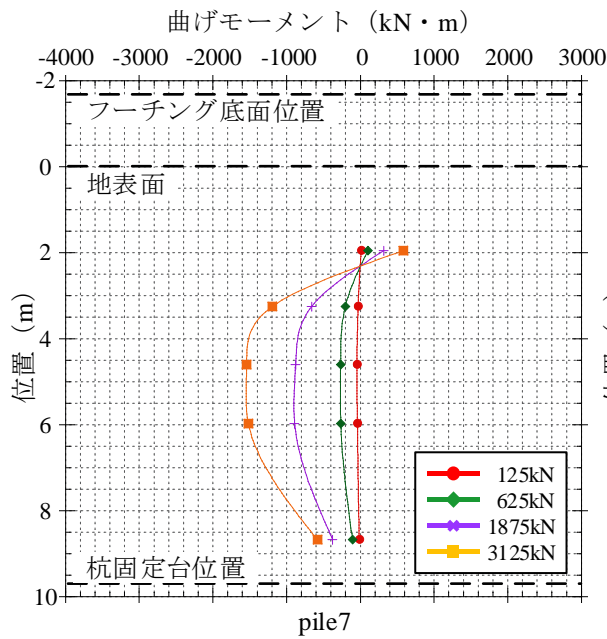
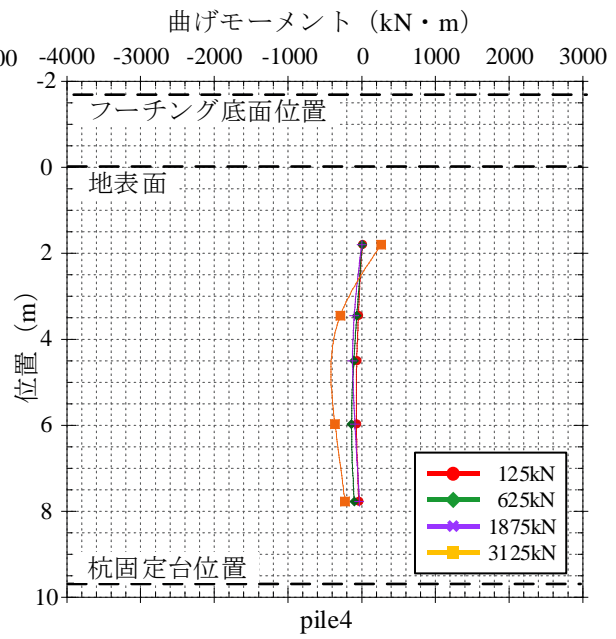
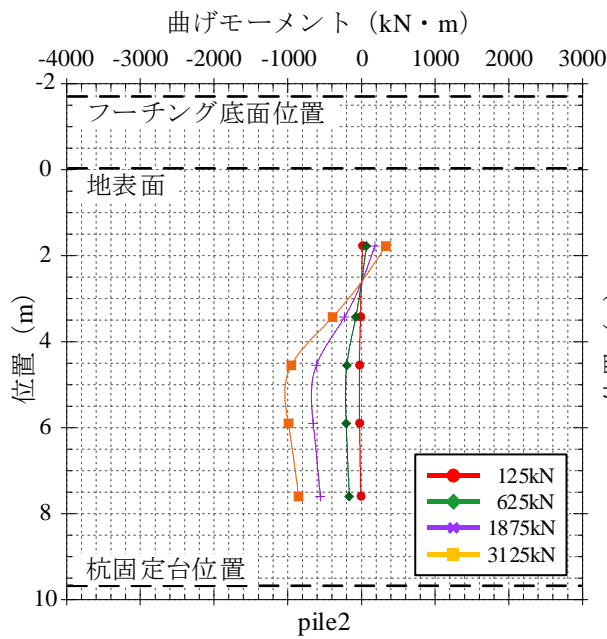
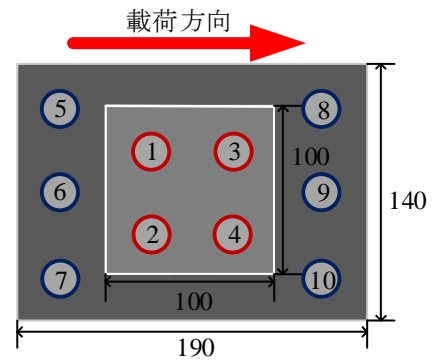
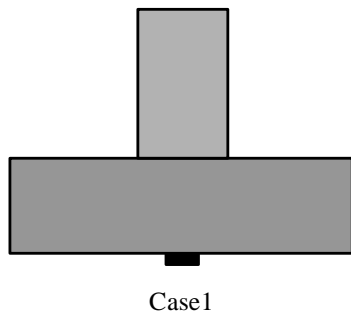


図9 杭の曲げモーメント分布図 (Case1)

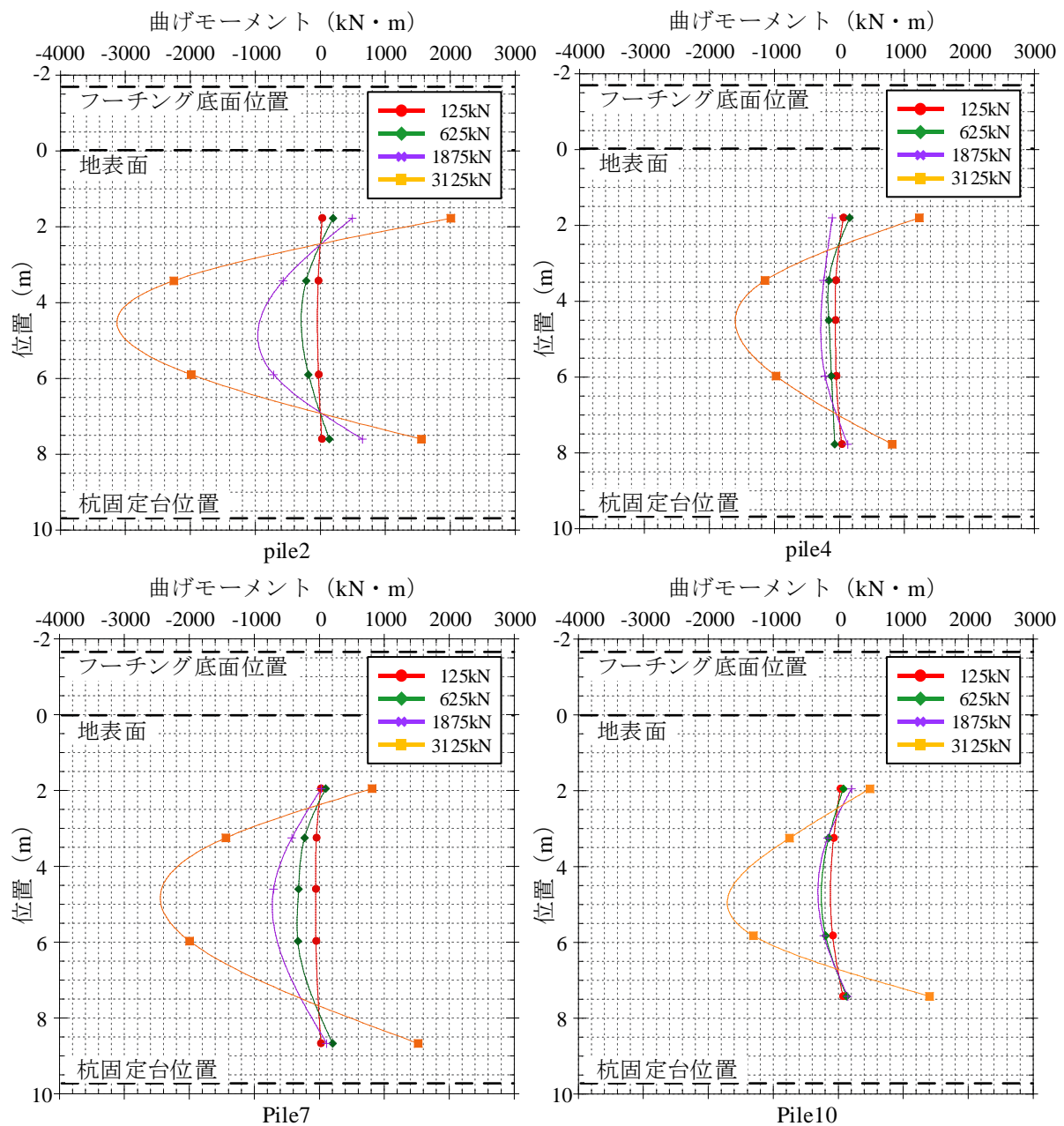
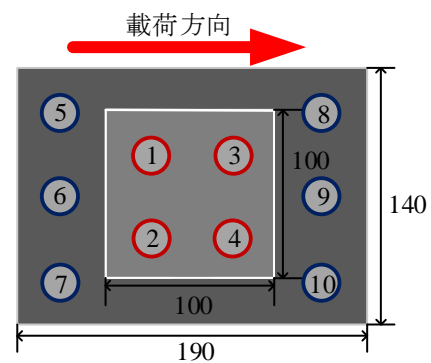
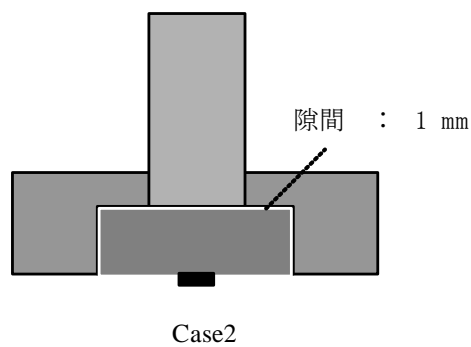


図 10 杭の曲げモーメント分布図 (Case2)

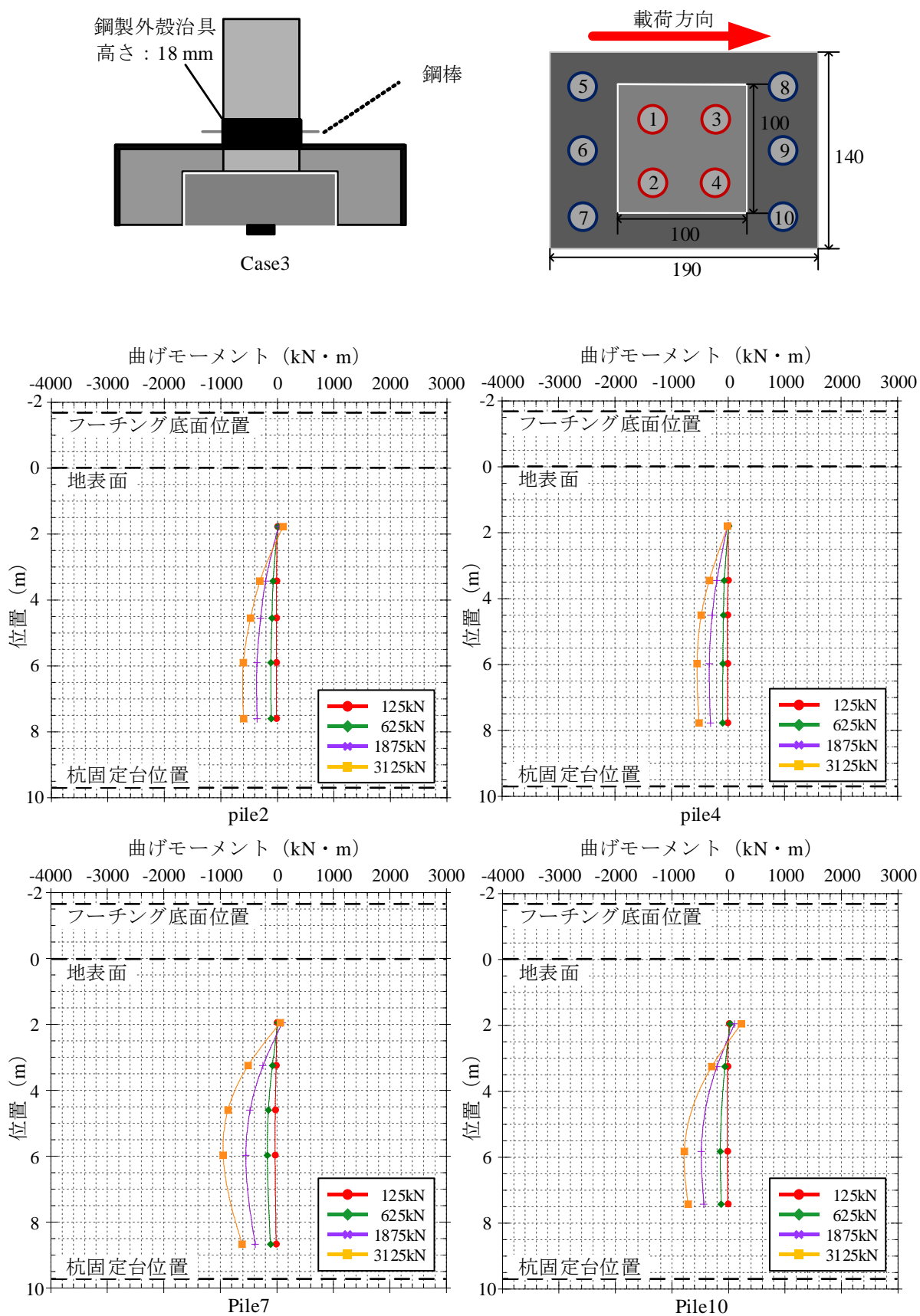


図 11 杭の曲げモーメント分布図 (Case3-1 回目)

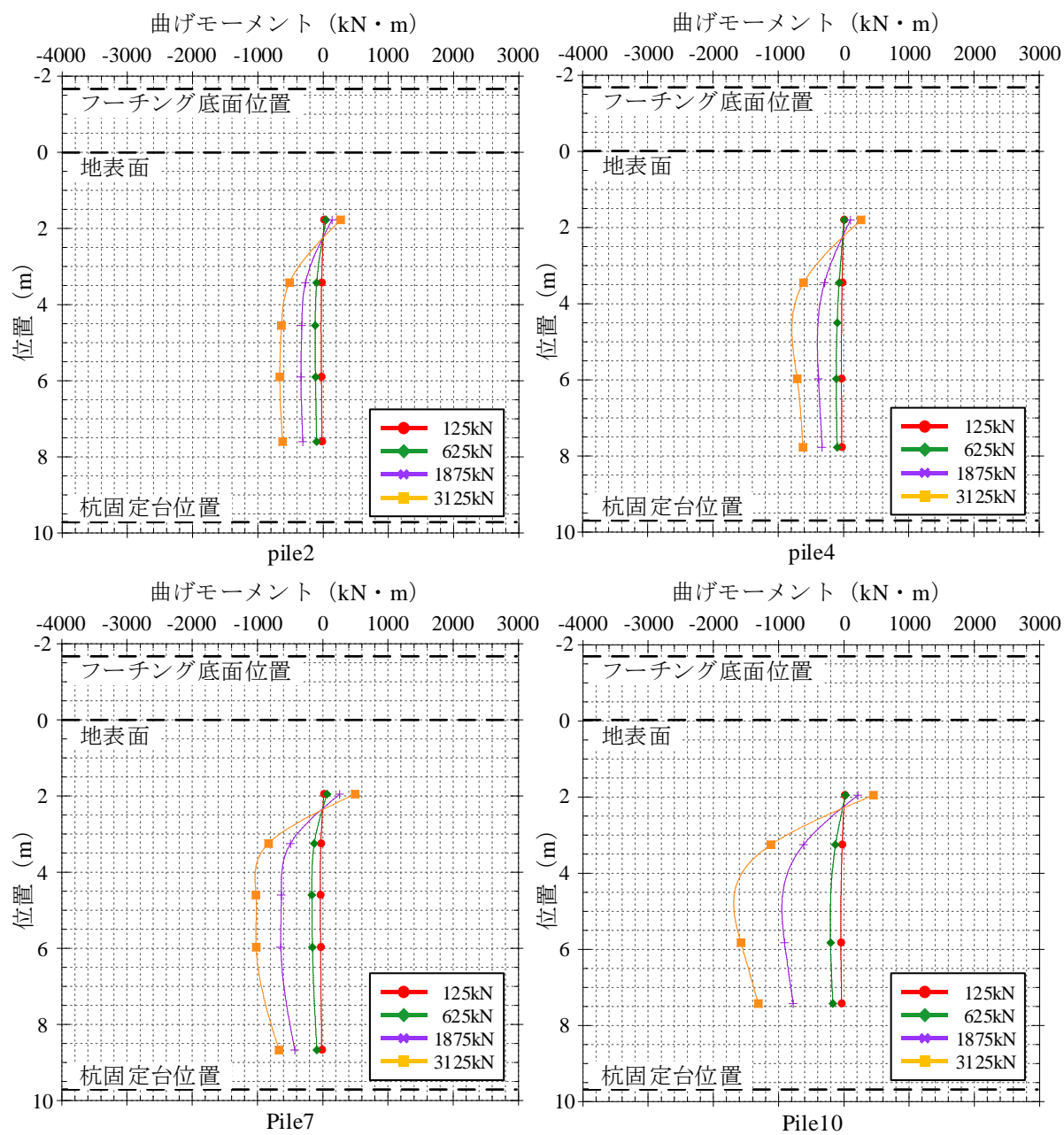
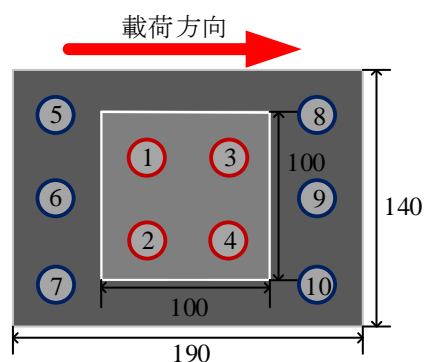
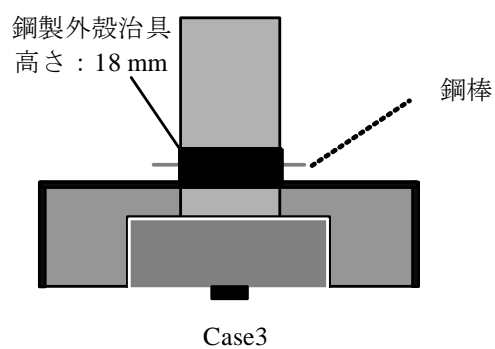


図 12 杭の曲げモーメント分布図 (Case3-2 回目)

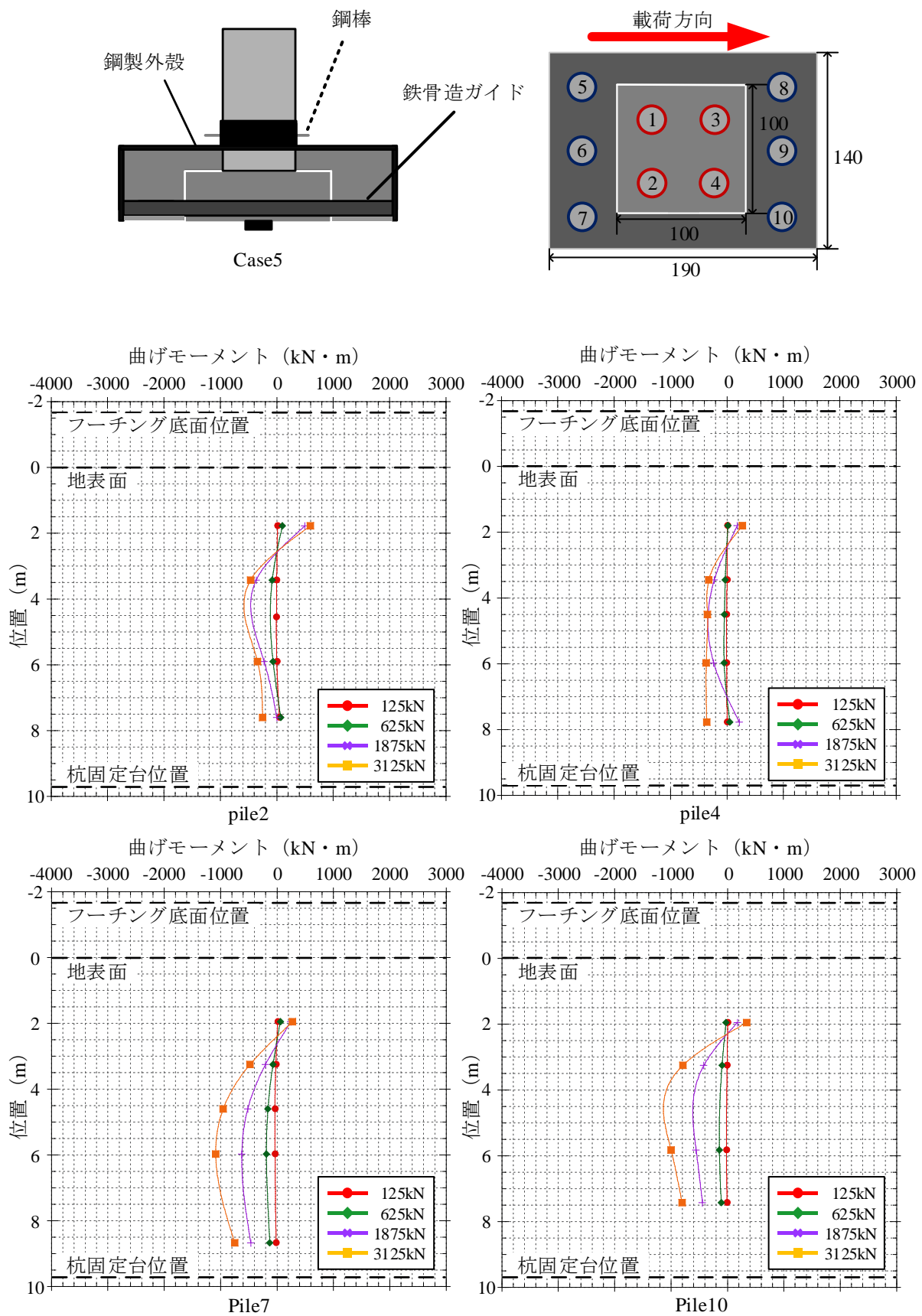


図 13 杭の曲げモーメント分布図 (Case5-2 回目)

4. 結論

本研究の結論を以下にまとめる。

- (1) Case1, 2 より, 増しフーチングと既設フーチングが連続体であっても, 間に隙間が空いていても全体の水平剛性に及ぼす影響が少ないことが分かる.
- (2) Case1, 2, 3, 5 より, 増しフーチングを鋼製外殻で固定した方がしてない時と比べ, 変位が小さくなるため, 全体の水平剛性が Case5 と同等に大きくなることがわかる.
- (3) Case3-1 回目, Case3-2 回目, Case5-2 より, 鉄骨造ガイドと増し杭の固定度を強くすることで, Case3 より大きな水平剛性を得ることができることが分かる.
- (4) Case1, Case2, Case3-1 回目, Case5-2 の曲げモーメント分布について, 増し杭前列より増し杭後列, 既設杭前列より既設杭後列の方が最大曲げモーメントの値が大きくなっている. これは, 前列側 (pile4, pile10) の地盤反力が減少したためである.
- (5) 本実験では前列から後列にかけて曲げモーメントの値が大きくなっていた. 既往の研究¹⁵⁾による解析結果でも, 前列から後列にかけて曲げモーメントの値が大きくなっていたことから本実験と同様の結果となっている.

謝辞

本研究は, 関西大学教授 飛田 哲男先生に遠心装置を貸していただきました. 遠心実験を実施するにあたり装置の使い方をはじめとして多くのご指導を頂きました. ここにお礼申し上げます.

参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説 (IV下部構造編), pp.187-190, p.259-263.
- 2) 寺本俊太郎: 群杭基礎の水平および鉛直力学挙動に関する研究, 京都大学博士請求論文, pp.1-3, p.5, pp.70-73.
- 3) Poulos, H. G.: Behavior of laterally loaded piles. II-Pile groups, Proc. of ASCE, Vol.90, No. EM3, pp. 223-254, 1964.
- 4) 玉置 修, 三橋晃司, 今井常雄: 水平抵抗における群杭効果の研究, 土木学会論文報告集, 第 192 号, pp.79-89, 1971.
- 5) Randolph, M.F.: The response of flexible piles to lateral loading, Géotechnique, Vo.31, No.2, pp.247-259, 1981.
- 6) 木村 亮: 水平力を受ける群杭の挙動に関する基礎的研究, 京都大学博士請求論文, pp.10-12, p.44, p.46, pp.70-72, p.90, 1993.
- 7) 寺本俊太郎: 群杭基礎の水平および鉛直力学挙動に関する研究, 京都大学博士請求論文, pp.1-3, p.5, pp.70-73.
- 8) 寺本俊太郎, 木村 亮: 増し杭された群杭基礎の荷重分担機構に関する数値解析的検討, 土木学会第 69 回年次学術講演会, 大阪, pp.93-94, 2014.
- 9) 井合 進, 飛田哲男, 原 哲郎: 遠心力場における群杭の静的水平載荷実験-原位置実大実験結果との比較, 第 38 回地盤工学研究発表会, pp.1441-1442, 2003.

- 10) 白石将大:増し杭された群杭基礎の荷重分担機構に関する研究, 京都大学修士請求論文, 2015.
- 11) 寺本俊太郎, 木村 亮, 西崎丈能, 新村知也, 井上昭生, 阿久津富弘: 既設の LNG タンク基礎を用いた 63 本群杭基礎の水平載荷試験に基づく群杭の挙動に対する考察, 土木学会論文集 C, Vol.70, No.2, p p.275-289, 2014.
- 12) 上田晴久, 竹中克弥: 実構造を模擬した増し杭基礎の水平力学挙動に関する実験的研究, 摂南大学学士請求論文, 2018.
- 13) 中川拓也, 森 竜伸, 小林広大: 模型実験によるフーチングの接合条件が増し杭された群杭基礎の一体性に及ぼす影響の解明, 摂南大学学士請求論文, 2019.
- 14) 寺本俊太郎, 木村 亮: 斜杭により増し杭された群杭基礎の水平力学挙動に関する数値解析的検討, 土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会, 香川, III009, 2019
- 15) 奥田勝稀: 新たな増し杭工法における接合構造の最適化に関する研究, 摂南大学修士請求論文, 2021
- 16) 田中雅大, 中山 樹: 増し杭工法における鋼製外殻および鉄骨造ガイドによる補強効果に関する遠心模型実験, 摂南大学学士請求論文, 2022