

NEW 高耐力マイクロパイルの曲げ試験

相良 昌男 *1 笹谷 輝勝
佐々木 仁

概 要

高耐力マイクロパイル(HMP: High Capacity Micropile)の改良・改善工法である NEW 高耐力マイクロパイル(NEW-HMP)工法は、HMPの狭い施工ヤードで施工可能等の特長を生かしながら、更なる支持力の増加を目的として開発された工法である。

本報告では、NEW-HMP の実物大の試験杭による単純曲げ試験を実施したので、その一部を報告する。

試験の結果、設計値と試験値はほぼ一致しており、設計時には、NEW-HMP の杭体については、削孔ケーシング、補強鋼管、芯鉄筋、グラウト材で一体化しており、等価曲げ剛性として求めることが可能であると判断された。

また、NEW-HMP が、変形性能に優れており、靱性があることが確認された。

Bending Tests for a NEW High Capacity Micropile

Abstract

A NEW-HMP (HMP: High Capacity Micropile) method has been developed through improvements to the existing HMP method. The HMP method can be applied to narrow construction sites with limited access. In addition to this advantage, the NEW-HMP method also has larger bearing capacity than the existing HMP method.

In order to examine the performance of the NEW HMPs, bending tests using full-scale test piles were carried out. These tests confirmed that the design values and experimental values were almost the same. As a result, it was confirmed that the NEW-HMP can be designed as an integrated mono-pile (consisted of a drilling casing, the reinforcement steel pipe, deformed bars and grout material) using equivalent bending stiffness. In addition, it has been confirmed that the NEW-HMP has excellent deformability and toughness.

キーワード： 高耐力マイクロパイル 曲げ試験
実物大試験

*1 マッドキラープロジェクト室

§1. はじめに

既設基礎の耐震補強工法として開発された高耐力マイクロパイル(以下、HMP ; High Capacity Micropile)工法¹⁾は、狭隘な場所や高さ制限がある等の厳しい施工制約条件下での施工を得意としており、開発以来、施工実績を積み重ねてきている。

一方、独立行政法人土木研究所、日立造船(株)および(株)フジタが、平成 14 年度から約 3 年間に渡って実施した「交差点立体化の路上工事短縮技術の開発(直接基礎形式等橋梁による急速交差点立体化工法の開発)」に関する共同研究においては、橋台の新設基礎工法の一つとして HMP 工法を改良・改善した NEW 高耐力マイクロパイル(以下、NEW-HMP)工法が開発された²⁾。

NEW-HMP 工法は、HMP と同等の特長を有しながらも、その杭径が HMP よりも一回り大きく、支持力の増加を可能にした杭工法である。また、杭上部に削孔ケーシングとして用いた鋼管を残置することにより、HMP よりも大きな水平耐力および曲げ耐力を確保することが出来る。

しかしながら、NEW-HMP の杭上部の構造は、削孔ケーシング、補強鋼管、グラウト材(セメントミルク等)および鉄筋による複合構造となり、その曲げ剛性等については未解明な部分がある。

本報告では、NEW-HMP の曲げ剛性を把握するため、杭上部を対象とした単純曲げ試験を実施したので、以下にその一部を報告する。

§2. NEW 高耐力マイクロパイル工法の概要

一般に、マイクロパイルとは、300 mm以下の小口径の場所打ち杭、埋め込み杭の総称である。マイクロパイルの中でも、高強度鋼管、異形棒鋼を補強材として用い、グラウト材を支持層に加圧注入することで、高耐力・高支持力を可能にしたマイクロパイルが HMP 工法である。

HMP 工法では、補強材である高強度鋼管を削孔ケーシングとして用いており、削孔後は、高強度鋼管をそのまま地中に残置して HMP の杭体を築造している。したがって、HMP の杭径すなわち削孔径は補強材である高強度鋼管径が深く関係している。具体的には、鋼管の先端に削孔ビットを設置して削孔する 경우가多く、鋼管継手部の外径よりも僅かに大きい程度である(ただし、拡径ビット等を用いる場合は除外)。この点は HMP の軟弱層の設計概念にも反映されており、前述のように高強度鋼管と削孔径が近似していることに加えて、軟弱層ではグラウト材を加圧注入しないことから、軟弱層における周面摩擦力は HMP の設計では考慮していない。

一方、NEW-HMP 工法では、補強材である高強度鋼管よりも一回り大きな径の削孔ケーシングを別個に準備し、それらを用いて地盤を削孔して杭体を築造する。

すなわち、NEW-HMP は、杭体を構成する材料(高強度鋼管、芯鉄筋、グラウト等)は HMP と同一としながらも、その杭径は HMP よりも大きく、また、杭全体を定着部とすることが可能となり、軟弱層での周面摩擦力についても確保される。このように、杭径の拡大と杭全周での周面摩擦力の確保により、HMP よりも大きな支持力を可能としたマイクロパイルが NEW-HMP 工法である。図-1 に HMP 工法と NEW-HMP の概念図を各々示す。

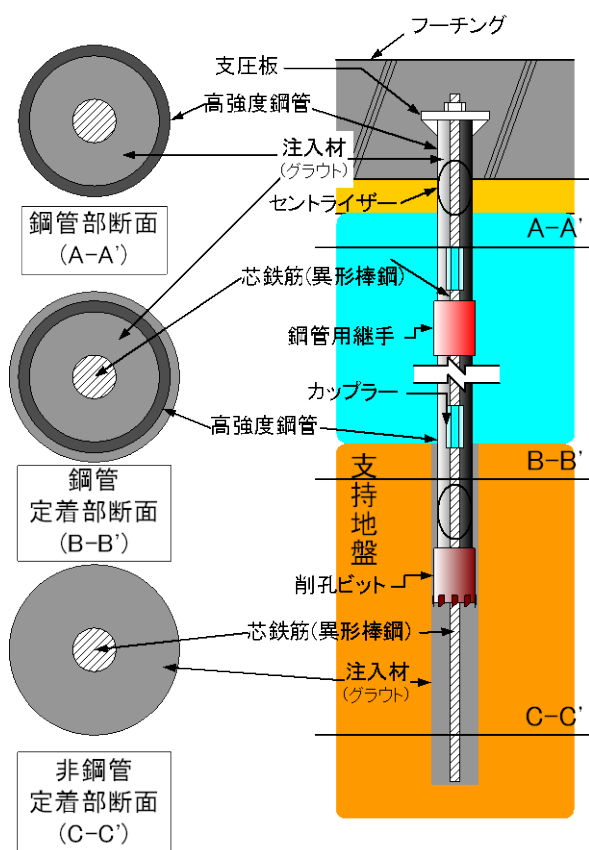
NEW-HMP の施工面、設計面の特長を下記に記す。下記 1)~8)については、HMP と共通の特長であり、NEW-HMP については、更に 9)~12)が追加される。これらの点が、NEW-HMP の優位性と言える。

■施工面

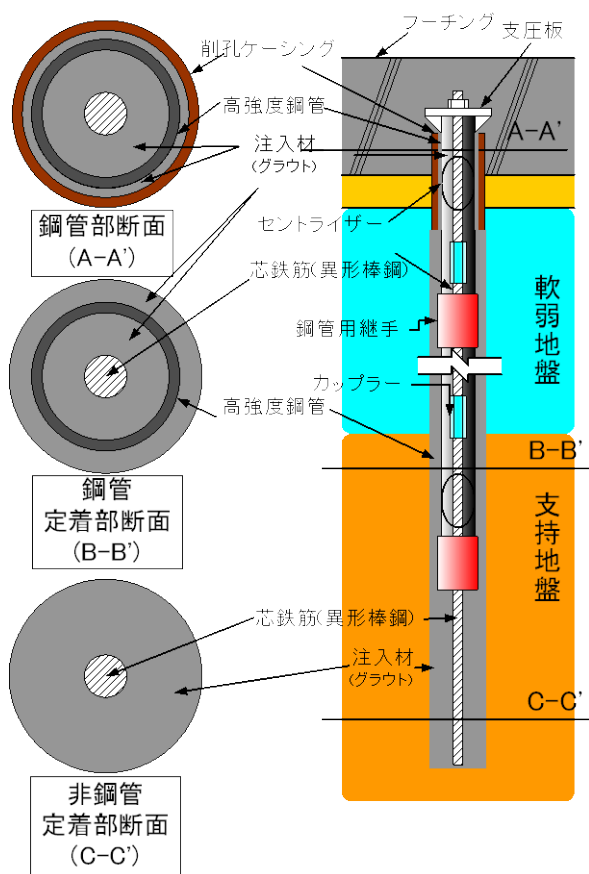
- (1) 小型のボーリングマシンによる削孔なので騒音や振動が少ない
- (2) 杭径が 300 mm以下と小さいため、地中障害物や既設構造物に対して影響が小さい
- (3) 施工機械が小さいため、狭隘かつ低空頭の場合でも施工が可能
- (4) 杭径が細いことから、掘削土量が少ない
- (5) 軟弱地盤から砂礫地盤、岩盤まであらゆる地盤での施工が可能

■設計面

- (6) 注入材の加圧注入および補強材として異形棒鋼・高強度鋼管を用いることにより小口径にもかかわらず大きな支持力を確保できる
- (7) 一般の大口径に比べてフーチング面積を小さくできる
- (8) 斜杭を設計に取り入れることにより大きな水平耐力を確保できる
- (9) NEW-HMP は、HMP 工法と比べて杭径が大きく、また、軟弱層においても周面摩擦力が期待できることから、HMP よりも杭の支持力が大きい(HMP の設計では、軟弱層での周面摩擦は考慮していない)
- (10) 杭径が大きい分、HMP よりも杭の水平耐力が増大する



(a)HMP 工法



(b)NEW-HMP 工法

図-1 HMP および NEW-HMP 概念図

- (11) HMP に比べて杭全体の本数を減じることが可能で、工期短縮・コストダウンが期待できる
- (12) 地盤の上層部に削孔ケーシングを残置することにより、曲げ耐力や靱性を増加することができる

§3. 試験概要

3.1 目的

NEW-HMP においては、図-1(b)の鋼管部断面(A-A')に示すように、地中部の最大曲げモーメントが作用する箇所に削孔ケーシングを残置することが可能である。これは、図-1(a)の鋼管断面(A-A')と比較しても分かるように、HMP の外側に鋼管を設置した構造となっており、HMP と比べて NEW-HMP の曲げ剛性は強く、優位となる。

その断面は、図-1(b)図の鋼管断面(A-A')に示すように、削孔ケーシング、補強鋼管、芯鉄筋(異形棒鋼)、グラウト材で構成され、杭体は複合部材として取り扱われる。

本試験では、この複合部材の曲げ特性を把握することを目的として、単純曲げ試験を実施した。

3.2 試験体の概要

これまでの HMP の研究開発において、HMP の単純曲げ試験³⁾が実施されており、本試験においても、それらの文献を参考として曲げ試験を実施した。

試験体は実物大モデルとし、削孔ケーシングにはφ244.5mm、厚さ12mmの鋼管(STKM13A)を、補強鋼管にはφ177.8mm、厚さ12.6mmの油井鋼管(API N80)を、芯鉄筋(異形棒鋼)には D51、SD490 を用いた。各鋼材間の間隙にはグラウト材(セメントミルク)を充填し、鋼材とグラウト材の一体構造として試験体を作成した。削孔ケーシング以外は、過去の HMP の単純曲げ試験で用いられた材料と同規格であり、補強鋼管として用いられた油井鋼管等は、実際の HMP の工事で標準的に用いられている材料である。表-1 に試験体に用いた材料物性を示す。

グラウト材の設計基準強度は 30N/mm² 以上とし、表-2 にその配合表を示す。

試験体の長さは 3m とし、図-2 に試験体の概略図を示す。杭端部は、杭頭の支圧板を想定して 300×300mm、厚さ 22mm(SM490)の正方形の鋼板をナットで芯鉄筋に固定した。また、反対側についても芯鉄筋がグラウト材により十分に固定されていると判断し、同様に正方形鋼板をナットで固定した。

3.3 荷重方法と測定方法

荷重は 2 点荷重とし、設計上の降伏荷重 915kN を目安として、約 900kN までは荷重制御方式で荷重し、その後

は、降伏時の変位と判断された 15 mm を $1\delta y$ として、最大 $23\delta y (=345\text{mm})$ まで 10 サイクルの変位制御方式で繰り返し载荷した。なお、载荷方向は载荷装置の都合により下方から上方への鉛直载荷とした。

測定は、油圧ジャッキの油圧から求められる荷重計と所定の位置に配置した変位計、鋼材に貼付したひずみゲージにより行う。

ひずみゲージは試験体の中心部を主体として、芯鉄筋、補強鋼管、削孔ケーシングの鋼材の同一断面に貼付した。

写真-1 に試験体設置状況を示す。

§4. 試験結果

4.1 荷重-変位の関係

図-3 に、荷重と鉛直変位(図-2 中の変位計 V_{04})の関係を示す。

図-3(a)から、試験体は降伏時以降も载荷荷重は漸増する傾向であることが分かる。また、本試験の最大変位量 350 mm においても、試験体表面には大きな変状はみられなかった。写真-2 に試験終了後の試験体状況を示す。これらのことから、試験体は最大変位量 350 mm よりも変形能力、耐力ともに大きいと推測され、NEW-HMP が変形性能に優れており、靱性を有する杭であることが分かった。

図-3(b)は、図-3(a)の変位 100 mm までを拡大した図である。図-3(b)において、変局点は赤線で示した交点と考えられ、計測値では、およそ荷重 1000kN・変位 18 mm から荷重 1094kN・変位 23 mm の 2 点間の範囲にあり、本試験の降伏点は、前者の荷重 1000kN であると判断される。更に、弾性域の終点に着目すると、同図から判定するとおよそ荷重

表-1 試験体に用いた材料物性

材料	仕様	引張強さ (N/mm ²)	降伏点 (N/mm ²)
削孔ケーシング(STKM13A)	φ 244.5mm、厚さ12mm	370	215
補強鋼管(API N80)	φ 177.8mm、厚さ12.6mm	689	552-758
芯鉄筋	D51,SD490	620	490-625
グラウト材	W/C=50% セメントミルク	設計基準強度30(N/mm ²)以上	

表-2 グラウト材配合表

	水セメント比	水	セメント	混和剤 (レオビルド4000)	
	W/C(%)	W(kg)	C(kg)	(kg)	(リットル)
1m ³ 当り	50	605.0	1210	18.15	16.06

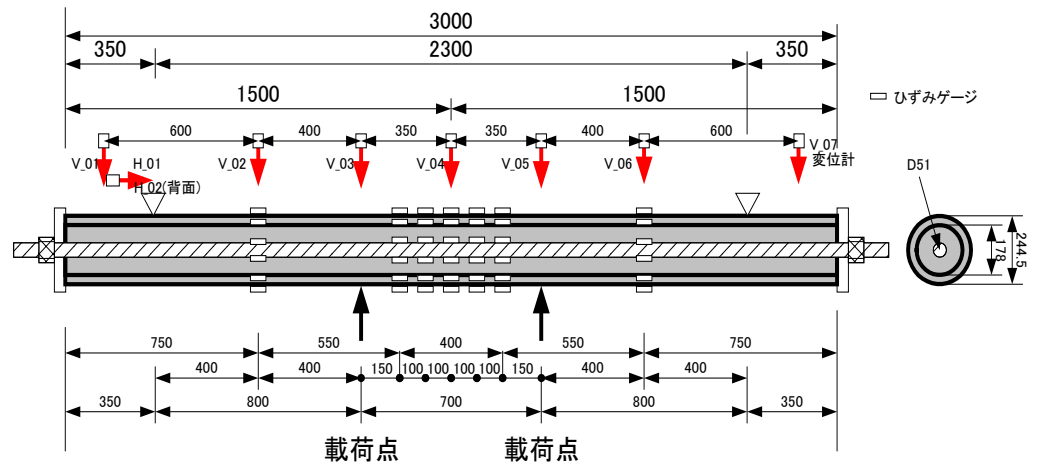


図-2 試験体概略図

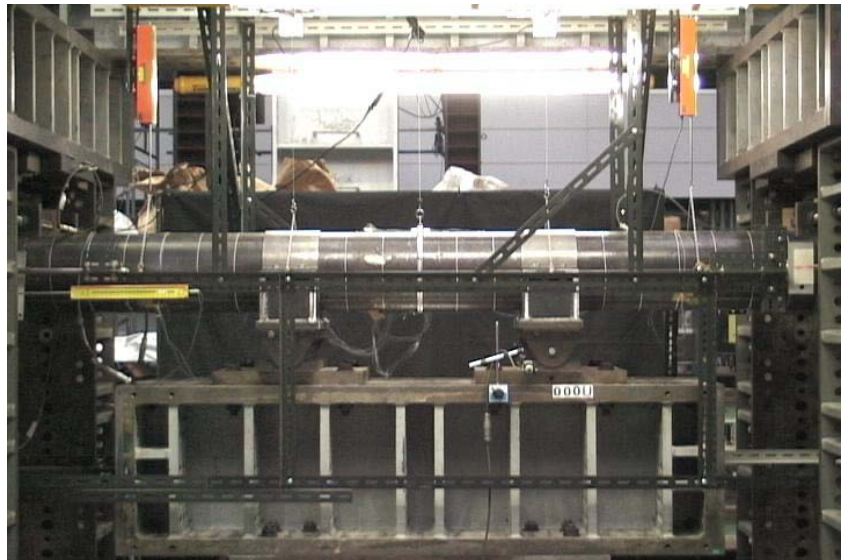


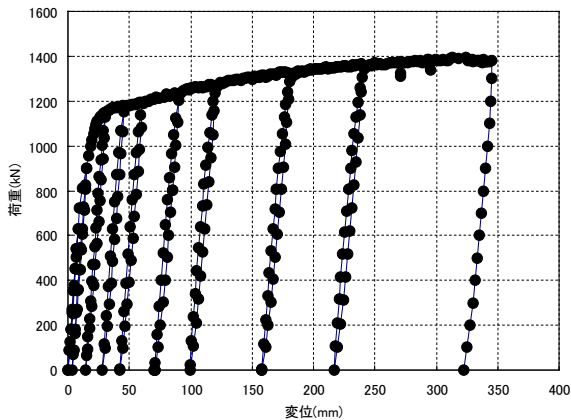
写真-1 試験体設置状況

958kN・変位約 17 mm(黄色●)、荷重 902kN・変位約 15 mm(青色●)のいずれかの点が弾性域の終点であると考えられる。本試験では、弾性域の終点を前者の荷重 902kN・変位約 15 mmと判断し、目標荷重として载荷後いったん除

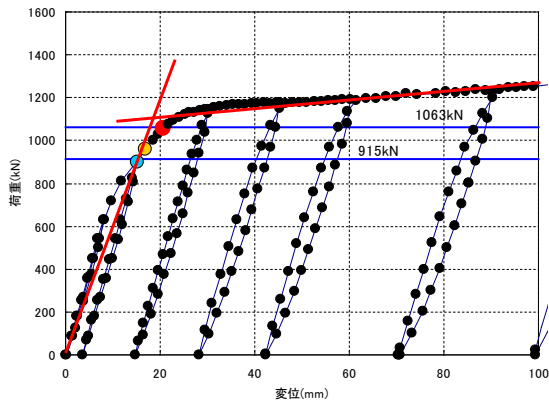
荷し、その後は 15 mm を $1 \delta y$ として、繰返し載荷を行い、載荷の変位へ与える影響を把握した。図-3(b)からも分かるように、降伏荷重以下では残留変形は小さい。降伏荷重以降については、変位制御方式で載荷し、強制的に変形させているため残留変形量は大きくなる傾向にあるが、繰返し載荷を行っても残留変形量の進展はほとんど無いと言える。

一方、設計値については、NEW-HMP の曲げ剛性を鋼材とグラウト材が一体化した複合材料であるみなし、曲げ剛性を求めて算出している。その目安として、最も外側の鋼管である削孔ケーシングが降伏に達する時の荷重を降伏荷重とし、その値は、915kN、変位は約 12 mm であった。また、同様な考え方から求めた塑性荷重は 1063kN、変位は約 14 mm であった。

このことから、試験結果は設計値を満足しており、また、弾性域の終点となる荷重は、設計値のほぼ降伏荷重と近似しており、NEW-HMP が複合材料として十分な荷重を有していることが分かる。



(a) 変位 345 mm



(b) 変位 100 mm までの拡大図

図-3 荷重-変位

4.2 荷重-ひずみの関係

図-4 に、各鋼材である削孔ケーシング、補強鋼管、芯鉄筋(異形棒鋼)の中央に貼付したひずみ値と荷重の関係を示す。なお、図中では、弾性域と塑性域の目安とするために 1000kN と 1300kN で直線を記している。

図からも分かるように、変位が $3 \delta y$ (45 mm、荷重は約 1200kN) 程度までは、ひずみ値は原点を通る中心軸を境界線として、各々の図で上部と下部で線対称となるように増大しており、曲げ応力が各部材の上下で均等に作用していることが分かる。すなわち、塑性域である 1200kN の荷重レベルにおいても、NEW-HMP の杭体は中心軸を対称として変形しており、これにより、削孔ケーシング、補強鋼管、芯鉄筋、グラウト材が一体化していることが分かる。

変位 $3 \delta y$ (45 mm、荷重は約 1200kN) 以降では、図中の右側すなわち、各部材の上側のひずみ値が大きくなる傾向である。この傾向は、試験体の中心から外殻に位置する削孔ケーシング、補強鋼管、芯鉄筋の順で顕著である。なお、図-4(b)の補強鋼管については、塑性域の 1300kN でひずみゲージが測定不能となった。これは、引張力によって内部のグラウト材が破壊したために、ひずみゲージを傷めてしまったためと考えられる。

§5. おわりに

NEW-HMP 工法の単純曲げ試験を実施し、その曲げ剛性を確認した。その結果、以下の知見を得た。

- ① 設計値と試験値はほぼ一致しており、設計時には、NEW-HMP 部材を削孔ケーシング、補強鋼管、芯鉄筋、グラウト材からなる等価曲げ剛性として求めることが可能であることが分かった。
- ② 本試験体では、変形能力、耐力ともに最大変位量 350 mm よりも大きいと推測され、NEW-HMP が、変形性能に優れており、靱性があることが確認され



写真-2 試験終了後の試験体状況

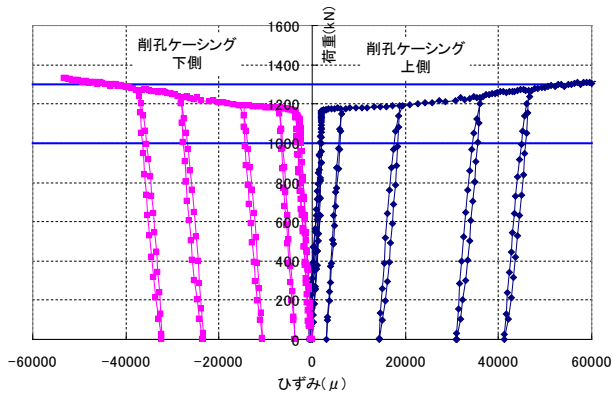
た。

- ③ 塑性域においても、NEW-HMP は中心軸を対称として変形しており、削孔ケーシング、補強鋼管、芯鉄筋、グラウト材が一体化していることが分かった。

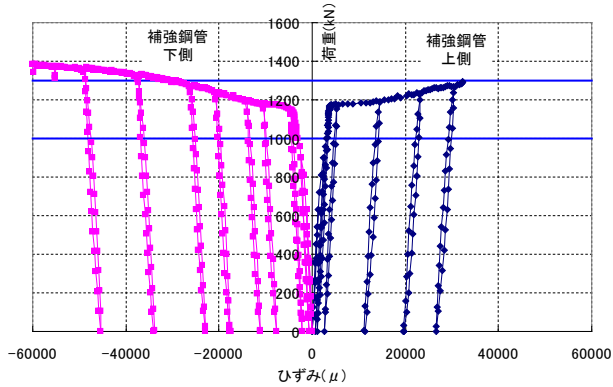
謝辞 本研究に貴重なご意見、ご協力をいただいた研究員および関係強力業者の皆様へ深謝いたします。

参考文献

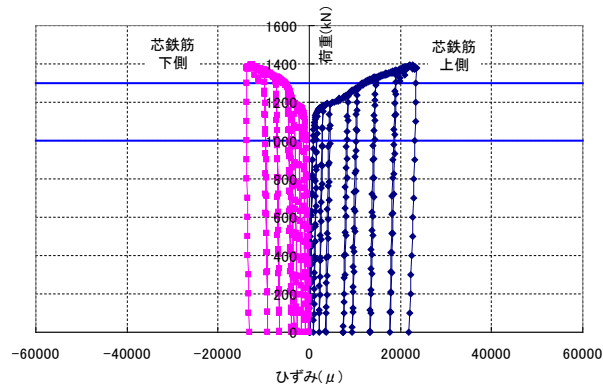
- 1) 独立行政法人土木研究所、(財)先端建設技術センター他:既設基礎の耐震補強技術の開発に関する共同研究報告書(その3)、高耐力マイクロパイル工法設計・施工マニュアル(6分冊の2) 整理番号第 282 号、平成 14 年 9 月
- 2) 独立行政法人土木研究所、日立造船株式会社、株式会社フジタ:交差点立体化の路上工事短縮技術の開発に関する共同研究報告書—直接基礎形式等橋梁による急速交差点立体化工法の開発—整理番号第 334 号、平成 17 年 3 月
- 3) 齊藤、浜塚、米倉、岸下:鋼管を用いたマイクロパイルの曲げ耐力に関する研究—グラウトを充填した油井用鋼管の曲げ試験—、土木学会第 55 回年次学術講演会概要集第3部、2000.9
- 4) 相良、笹谷、福井、竹口、大下:NEW 高耐力マイクロパイルの開発と性能確認試験、土木学会第 62 回年次学術講演会概要集第 6 部、2007.9
- 5) 相良、笹谷:NEW 高耐力マイクロパイルの曲げ試験、土木学会第 63 回年次学術講演会概要集第 3 部、2008.9



(a)削孔ケーシング



(b)補強鋼管



(c)芯鉄筋

図-4 荷重-ひずみ



相良 昌男

ひとこと

本年度は、NEW-HMP の曲げ試験を実施した。今後は、本研究結果が現場適用の一助になれば幸いです。