

共同研究報告書

整理番号第497号

場所打ち杭基礎の 設計の合理化・高度化に関する 共同研究報告書

[その1（スパイラル鉄筋を用いた
場所打ち杭の載荷試験結果）]

平成30年2月

国立研究開発法人 土木研究所
学校法人 早稲田大学
一般社団法人 日本基礎建設協会

Copyright © (2018) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means,
nor transmitted, nor translated into a machine language without the written
permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、国立研究開発法人土木研究所理事長の承認を得て刊行し
たものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、国
立研究開発法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行つ
てはならない。

場所打ち杭基礎の設計の合理化・高度化に関する

共同研究報告書

[その1 (スパイラル鉄筋を用いた場所打ち杭の載荷試験結果)]

国立研究開発法人大木研究所 構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員 七澤利明
国立研究開発法人大木研究所 構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 主任研究員 河野哲也
国立研究開発法人大木研究所 構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 交流研究員 宮原 清^{※1}
国立研究開発法人大木研究所 構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 交流研究員 今 広人

学校法人 早稲田大学 創造理工学部 社会環境工学科 教授 秋山充良

一般社団法人 日本基礎建設協会	技術委員	矢田哲也
一般社団法人 日本基礎建設協会	技術委員	飯田 努
一般社団法人 日本基礎建設協会	技術委員	荻田成也
一般社団法人 日本基礎建設協会	技術委員	堀川 剛
一般社団法人 日本基礎建設協会	技術委員	山田正毅
一般社団法人 日本基礎建設協会	技術委員	田中昌史
一般社団法人 日本基礎建設協会	技術委員	今井康幸

※1 現 日本ヒューム株式会社 (交流研究員在職期間: 2015年4月~2017年3月)

要旨

場所打ち杭の帶鉄筋は、塑性化後も一定の変形能を確保するため、フックを設けることが平成24年道路橋示方書IV下部構造編に規定されている。しかし、鉄筋かごの径が小さい場合、コンクリート打設に用いるトレミー管の挿入時や引抜き時に帶鉄筋のフックと干渉し、施工に支障をきたすことがある。このような場合には、フックを設けた帶鉄筋の代わりにスパイラル鉄筋を用いることで施工上の課題が解決されるが、大地震で塑性化した際にフックを設けた帶鉄筋と同等の耐力や変形能を有しているかは確認できていない。そこで、場所打ち杭基礎の設計の合理化・高度化を図るため、スパイラル鉄筋の適用性の確認や設計法の開発を目的とした共同研究を実施した。本文は平成28年度から平成29年度に実施した載荷試験の結果をまとめたものである。

キーワード: 場所打ち杭、帯鉄筋、スパイラル鉄筋、せん断載荷試験、正負交番曲げ載荷試験

場所打ち杭基礎の設計の合理化・高度化に関する共同研究報告書

[その1 スパイラル鉄筋を用いた場所打ち杭の載荷試験結果]

目 次

PAGE

1. まえがき	1
2. 帯鉄筋にスパイラル鉄筋を用いた場所打ち杭のせん断載荷試験	3
2. 1 目的	3
2. 2 せん断載荷試験	3
2. 2. 1 試験概要	3
2. 2. 2 試験項目一覧	3
2. 2. 3 試験体および試験ケース	3
2. 2. 4 載荷装置	5
2. 2. 5 載荷方法	6
2. 2. 6 計測概要	7
2. 2. 7 載荷試験結果	9
2. 2. 8 試験結果の考察	26
3. 帯鉄筋にスパイラル鉄筋を用いた場所打ち杭の正負交番曲げ載荷試験	27
3. 1 目的	27
3. 2 正負交番曲げ載荷試験	27
3. 2. 1 試験概要	27
3. 2. 2 試験項目一覧	27
3. 2. 3 試験体および試験ケース	27
3. 2. 4 載荷装置	28
3. 2. 5 載荷方法	29
3. 2. 6 計測概要	30
3. 2. 7 載荷試験結果	32
3. 2. 8 フック式とスパイラル式の試験結果の比較	62
3. 2. 9 試験結果の考察	66
4. まとめ	67
付 錄	68
参考文献	70

参考資料	71
1. 材料試験データ	71
2. 状況写真	78
3. 試験データ	82
4. 軸方向鉄筋および帯鉄筋に関する実績調査について	96

1. まえがき

場所打ち杭の帶鉄筋は、大地震時で塑性化した後も一定の変形能を確保するため、帶鉄筋の直径の 40 倍以上帶鉄筋を重ね合わせるとともに、半円形フック又は鋭角フックを設けることが平成 24 年道路橋示方書 IV 下部構造編・同解説¹⁾（以下、H24 道示IV）の中で規定されている。しかし、鉄筋かご径が小さい場合には、コンクリート打設に用いるトレミーの挿入・引抜き時に帶鉄筋のフックと干渉し、鉄筋かごの傾斜・変形、トレミーの挿入・引抜き不能等の支障をきたすおそれがある。このような場合には、フックを設けた帶鉄筋の代わりにスパイラル鉄筋を用いることで施工上の課題が解決されるが、大地震で塑性化した際にフックを設けた帶鉄筋と同等の耐力や変形能を有しているかは確認できていない。

そこで、国立研究開発法人土木研究所、学校法人早稲田大学、および一般社団法人日本基礎建設協会は、場所打ち杭基礎の設計の合理化・高度化を図ることを目的とした共同研究を実施している。

本報告書は、主として平成 28 年度から平成 29 年度に実施した共同研究の内容について、まとめたものである。各章の内容について以下に示す。

2 章では、場所打ち杭の帶鉄筋において、フックを設けて定着させた杭（以下、フック式）とスパイラル鉄筋を用いた杭（以下、スパイラル式）のせん断載荷試験を行った結果を示し、比較を行う。スパイラル式においても、フック式と同様な機能を発揮するとともに同等の耐力やせん断補強効果が得られるのかを確認する。

3 章では、場所打ち杭の帶鉄筋において、フック式とスパイラル式の正負交番曲げ載荷試験を行った結果を示し、比較を行う。スパイラル式においても、フック式と同様な機能を発揮するとともに同等の変形能が得られるのかを確認する。

4 章では、本報告書のまとめについて示す。

研究体制

表に平成 28~29 年度の共同研究担当者名簿を示す。

研究細目： ①載荷計画 ②試験体製造 ③載荷試験 ④結果、整理、解析

所 属 名	氏 名	役 職 名	研究細目			
			①	②	③	④
国立研究開発法人 土木研究所	七 澤 利 明	構造物メンテナンス研究センター 橋梁構造研究グループ 上席研究員	◎	○	○	◎
	河 野 哲 也	構造物メンテナンス研究センター 橋梁構造研究グループ 主任研究員	◎	○	○	◎
	宮 原 清	構造物メンテナンス研究センター 橋梁構造研究グループ 交流研究員	◎	○	○	◎
	今 広 人	構造物メンテナンス研究センター 橋梁構造研究グループ 交流研究員	◎	○	○	◎
学校法人 早稲田大学	秋 山 充 良	創造理工学部 社会環境工学科 教授	◎	○	○	◎
一般社団法人 日本基礎建設協会	矢 田 哲 也	技術委員	◎	◎	◎	◎
	飯 田 努	技術委員	◎	◎	◎	◎
	荻 田 成 也	技術委員	◎	◎	◎	◎
	堀 川 剛	技術委員	◎	◎	◎	◎
	山 田 正 翔	技術委員	◎	◎	◎	◎
	田 中 昌 史	技術委員	◎	◎	◎	◎
	今 井 康 幸	技術委員	◎	◎	◎	◎

2. 帯鉄筋にスパイラル鉄筋を用いた場所打ち杭のせん断載荷試験

2. 1 目的

本試験では、SD345 の帯鉄筋をフック式とスパイラル式により配筋した杭のせん断載荷試験を行い、同等の耐力やせん断補強効果が得られるのかを確認した。

2. 2 せん断載荷試験

2. 2. 1 試験概要

本試験は、単純梁方式での載荷方法で行い、試験体の斜めひび割れおよび破壊性状を確認した。

2. 2. 2 試験項目一覧

主な試験項目は以下の 6 項目とし、載荷荷重と帯鉄筋のひずみを連続的に計測した。

- (1) 常時計算荷重、斜めひび割れ荷重、帯鉄筋想定降伏荷重、および破壊荷重とその形態
- (2) 斜めひび割れ発生状況
- (3) ひずみ測定
- (4) 変位量測定
- (5) コンクリートの圧縮強度、引張強度、ヤング率（表 2. 2. 4）
- (6) 帯鉄筋の引張強度とヤング率（表 2. 2. 5）

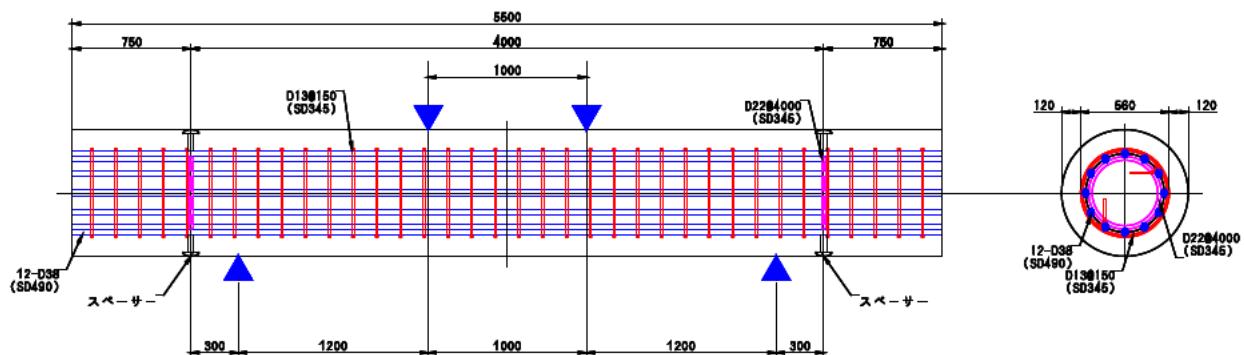
なお、(1) の荷重の定義については 2. 2. 5 に示す。

2. 2. 3 試験体および試験ケース

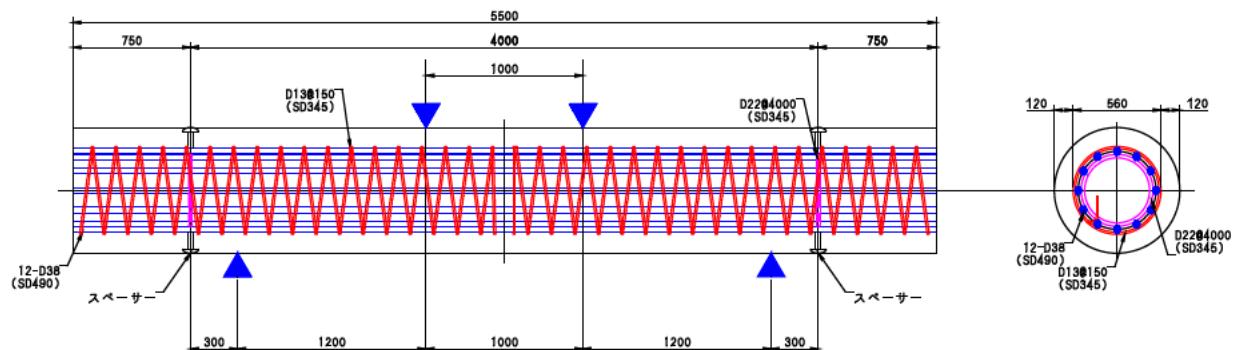
試験体諸元および試験ケースを表 2. 2. 1 に示す。試験体の杭径は、H24 道示IV の規定範囲 (800mm 以上) を満足するとともに、試験機の載荷能力を考慮して設定した。なお後述する 3 章の正負交番曲げ載荷試験での試験体の杭径 800mm とも整合性がとれるようにした。帯鉄筋の仕様は、フック式配筋、スパイラル式配筋とともに H24 道示IV における「帯鉄筋の中心間隔を 150mm 以下、かつ鉄筋量は側断面積の 0.2% 以上とする」という規定を満足するとともに、(一社) 日本基礎建設協会の実績調査の結果（参考資料 4）を踏まえ、帯鉄筋の最小配筋径の下限値である D13 で 150mm 間隔として配筋した。また、軸方向鉄筋の仕様は、H24 道示IV における軸方向鉄筋量 (0.4~6.0%)、直径 (22mm 以上)、純間隔 (鉄筋径の 2 倍又は粗骨材最大寸法の 2 倍の大きい方)、本数 (6 本以上) の規定を満足するとともに、試験体が曲げ破壊しない鉄筋量とした。図 2. 2. 1 に試験体の配筋図を示す。

表 2.2.1 試験体諸元

試験体 No.	杭径 (mm)	杭長 (m)	軸方向鉄筋			帶鉄筋			コンクリート 強度 (N/mm ²)	
			材質	仕様	鉄筋比 pg (%)	形状	材質	仕様		
1	800	5.5	SD490	12-D38	2.72	フック式	SD345	D13@150	0.21	30
2	800	5.5	SD490	12-D38	2.72	スパーケル式	SD345	D13@150	0.21	30



① No.1 試験体



② No.2 試験体

図 2.2.1 試験体の配筋図

2. 2. 4 載荷装置

載荷方法を図 2.2.2 に示し、載荷スパンを表 2.2.2 に示す。載荷方法は、2 点支持および 2 点載荷の単純梁方式として実施した。この方式の載荷荷重 P と杭体のせん断力 Q の間には、式(2.2.1)の関係が成り立つ。

$$Q = P/2 \quad (2.2.1)$$

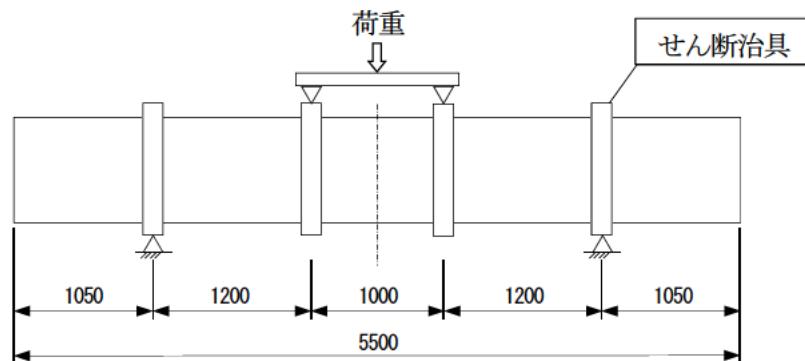


図 2.2.2 載荷方法 (単位 : mm)

表 2.2.2 載荷スパン

試験体 No.	杭径 D (mm)	長さ L (m)	せん断 スパン (m)	せん断 スパン比 M/Q_d	帶鉄筋 形状
1	800	5.5	1.2	1.5	フック式
2					スパイラル式

2. 2. 5 載荷方法

載荷方法は、図 2.2.3 に示すように、①常時計算荷重 (H24 道示IV式によりコンクリートが負担するせん断応力度 $\tau_c=0.37\text{N/mm}^2$ 、帶鉄筋 SD345 の $\sigma_{sa}=180\text{N/mm}^2$ として計算した値)、②斜めひび割れ発生荷重 (目視で最初に斜めひび割れが確認された荷重)、③帶鉄筋想定降伏荷重 (H24 道示IV式によりコンクリートせん断応力度 $\tau_c=0.37\text{N/mm}^2$ 、帶鉄筋 SD345 の $\sigma_{sy}=400\text{N/mm}^2$ として計算した値)、破壊荷重は4サイクル目のサイクルで杭体が破壊に至るまで載荷した。計測は載荷時、除荷時とも 10kN 荷重差が生じたタイミングで計測した。また、各サイクルのピーク荷重は、適宜マニュアルで計測した。杭体の破壊荷重は、杭材がせん断破壊して荷重が保持できなくなった時点とし、破壊荷重確認後に除荷し、計測を終了した。

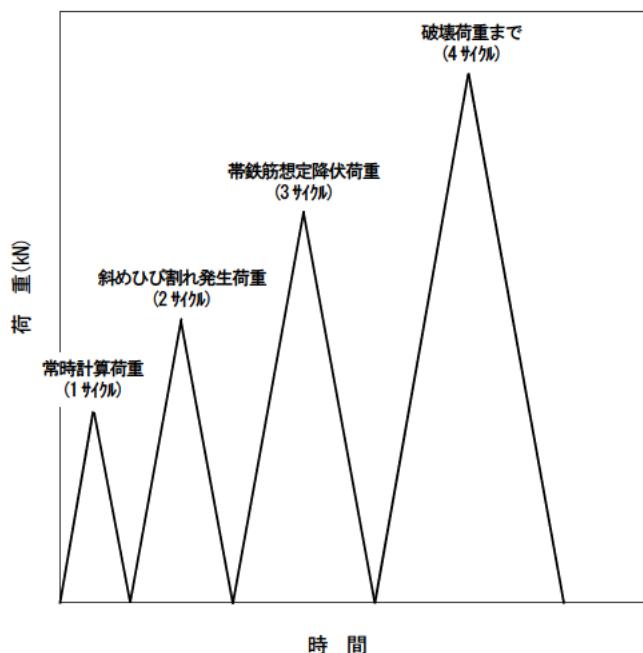


図 2.2.3 載荷サイクル

2. 2. 6 計測概要

図 2. 2. 4 に杭表面の三軸ゲージ位置を、また、図 2. 2. 5 に帶鉄筋のひずみゲージ位置を、図 2. 2. 6 にスパイラル鉄筋のひずみゲージ位置を示す。また、図 2. 2. 7 には変位計の取り付け位置を示す。

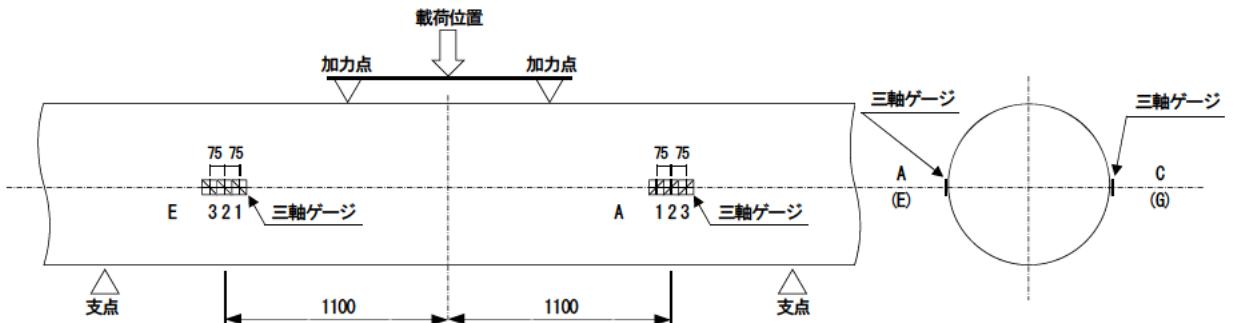


図 2. 2. 4 桿表面三軸ゲージ位置

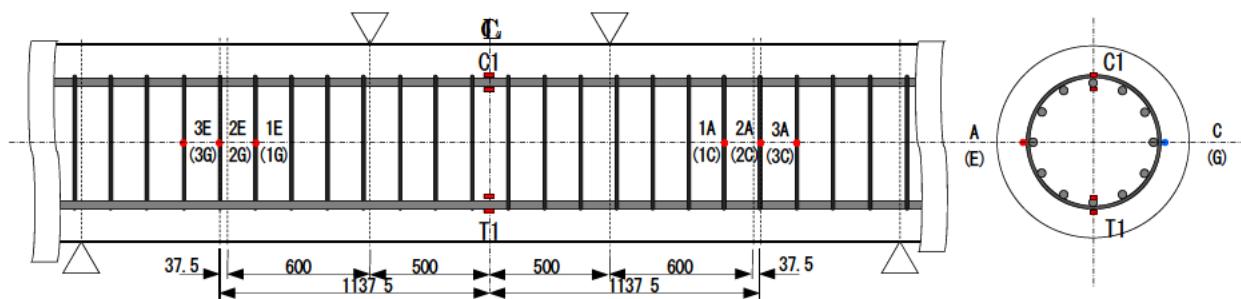


図 2. 2. 5 鉄筋ひずみゲージ位置 (フック式)

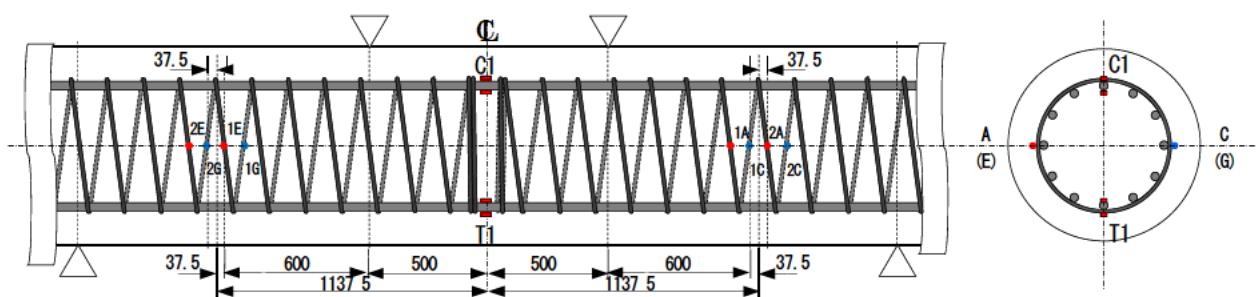


図 2. 2. 6 鉄筋ひずみゲージ位置 (スパイラル式)

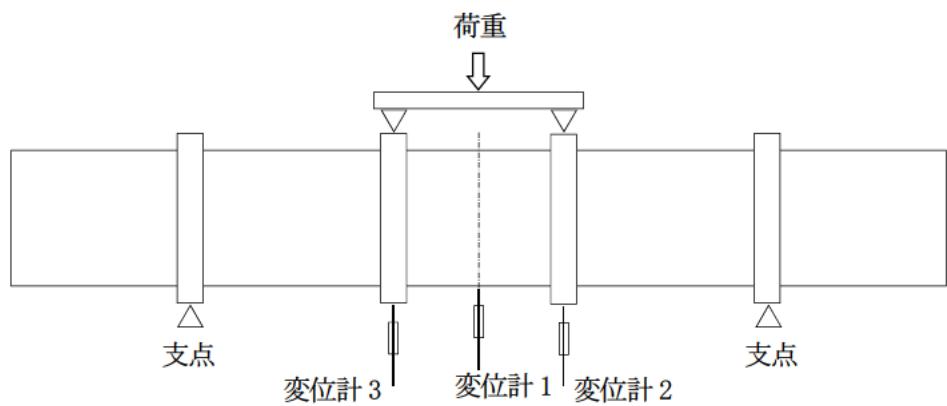


図 2.2.7 変位測定位置

2. 2. 7 載荷試験結果

(1) 試験体寸法実測値一覧

表 2.2.3 にせん断載荷試験に使用した杭体寸法の実測値を示す。

表 2.2.3 試験体寸法実測一覧

試験体 No.	杭径 (mm)	帯鉄筋				せん断 スパン比 M/Qd
		形状	材質	仕様	鉄筋比 pw (%)	
1	798.4	フック式	SD345	D13@150	0.21	1.5
2	801.7	スパイラル式	SD345	D13@150	0.21	1.5

(2) コンクリート強度試験一覧

表 2.2.4 に試験体に使用したコンクリートの圧縮試験及び引張強度を示す。

表 2.2.4 コンクリートの強度試験

試験体 No.	供試体 製作日	試験 実施日	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング率 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
1	H28.12.14	H29.2.13	61	27.2	22,000	2.08
2	H28.12.14	H29.2.15	62	28.9	22,500	2.16

表中の諸数値は、供試体 3 体の平均値

(3) 軸方向鉄筋および帯鉄筋の仕様

表 2.2.5 に軸方向鉄筋および帯鉄筋の仕様を示す。

表 2.2.5 軸方向鉄筋および帯鉄筋の仕様

	降伏強度 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	ヤング率 (N/mm ²)
SD490 D38 (軸方向鉄筋)	544.4	707.4	195,200
SD345 D13 (帯鉄筋：フック式)	377.8	568.2	188,500
SD345 D13 (帯鉄筋:スパイラル式)	394.5	562.4	185,600

表中の諸数値は、供試体 3 体の平均値

(4) 試験体のせん断耐力諸数値

表 2.2.6 に試験体のせん断耐力設計値および計算値を示す。それぞれ H24 道示IVに示される式 (2.2.2) を用いて、設計値は規格値を用いたもの、計算値は (1) から (3) の実測値を用いたものである。

H24 道示IVせん断耐力式 (レベル 2 地震時せん断耐力)

$$P_s = S_c + S_s \quad (2.2.2)$$

$$S_c = c_c \cdot c_e \cdot c_{pt} \cdot c_N \cdot \tau_c \cdot b \cdot d$$

$$S_s = \frac{A_w \sigma_{sy} d (\sin \theta + \cos \theta)}{1.15 s}$$

P_s : せん断耐力 (N)

S_c : コンクリートの負担するせん断耐力 (N)

S_s : 斜引張鉄筋の負担するせん断耐力 (N)

ただし、せん断スパン a が $d/1.15$ よりも小さい場合には、 a を用いる。

τ_c : コンクリートが負担できる平均せん断応力度 (N/mm²)で、下表の値とする。

コンクリートの設計基準強度 σ_{ck}	21	24	27	30	40
コンクリートが負担できる平均せん断応力度 τ_c	0.33	0.35	0.36	0.37	0.41

c_c : 荷重の正負交番作用の影響に関する補正係数で、1.0 とする。

c_e : 部材断面の有効高 d に関する補正係数で、下表の値とする。

有効高 d (mm)	300 以下	1000	3000	5000	10000 以上
c_e	1.4	1.0	0.7	0.6	0.5

c_N : 軸方向圧縮力による補正係数で、下式により算出する。

$$c_N = 1 + M_0 / M \quad (1 \leq c_N \leq 2)$$

M_0 : 軸方向圧縮力によりコンクリートの応力度が部材引張縁で零となる

曲げモーメント (N·mm)

$$M_0 = \frac{N}{A_c} \frac{I_c}{y}$$

M : 部材断面に作用する曲げモーメント (N·mm)

N : 部材断面に作用する軸方向圧縮力 (N)

I_c : 部材断面の図心軸に関する断面二次モーメント (mm⁴)

A_c : 部材断面積 (mm²)

y : 部材断面の図心より部材引張縁までの距離 (mm)

c_{pt} ：軸方向引張鉄筋比 p_t に関する補正係数で、下表の値とする。

軸方向引張鉄筋比 p_t (%)	0.1	0.2	0.3	0.5	1.0 以上
c_{pt}	0.7	0.9	1.0	1.2	1.5

d ：部材断面の有効高 (mm)

b ：部材断面幅 (等積箱形断面の腹部の合計幅とする) (mm)

A_w ：間隔 s 及び角度 θ で配置される斜引張鉄筋の断面積 (mm²)

s ：斜引張鉄筋の部材軸方向の間隔 (mm)

θ ：斜引張鉄筋が部材軸方向となす角度 (°)

σ_{sy} ：斜引張鉄筋の降伏点 (N/mm²)で、ただし、上限を 345N/mm² とする。

表 2.2.6 試験体のせん断耐力設計値および計算値

試験体 No.		杭径 (mm)	帯鉄筋仕様				せん断耐力		
			形状	線径 (mm)	ピッチ (mm)	降伏引張応力度 σ_{sy} (N/mm ²)	Sc (kN)	Ss (kN)	Ps (kN)
1	設計値	800	フック式	13	150	345	276.0	284.2	560.2
	計算値	800		13	150	377.8	276.0	311.2	587.2
2	設計値	800	スパイラル式	13	150	345	276.0	284.2	560.2
	計算値	800		13	150	394.5	276.0	324.9	600.9

※設計値：コンクリート強度を $F_c=30N/mm^2$ 、帯鉄筋(SD345)強度を規格値 345N/mm² として、

式 (2.2.2) により求めた値

計算値：コンクリート強度および帯鉄筋(SD345)強度を実材料強度試験値として、式 (2.2.2) に

より求めた値

(5) せん断載荷試験結果

図 2.2.8 にせん断載荷試験の荷重一変位関係を示す。No.1 および No.2 共に、せん断破壊にて試験が終了した。せん断破壊の判定は、載荷荷重が増加することなく、変位が進行する状態を確認し、せん断破壊と判断した。図 2.2.8 の H24 道示IVの計算値は、表 2.2.6 に示した計算値から式 (2.2.1) により載荷荷重に換算したものである。また、斜めひび割れ発生荷重は、目視にてせん断方向への斜めひび割れの発生を確認した際の荷重である。

図 2.2.9 に荷重一軸方向鉄筋のひずみ関係を示す。軸方向鉄筋のひずみの計測値から、降伏ひずみ 2790μ に対し、試験中の最大ひずみは、No.1 が 2715μ 、No.2 が 2436μ であり、曲げ降伏には至らなかったことを確認した。

表 2.2.7 にせん断載荷試験の試験結果を示す。

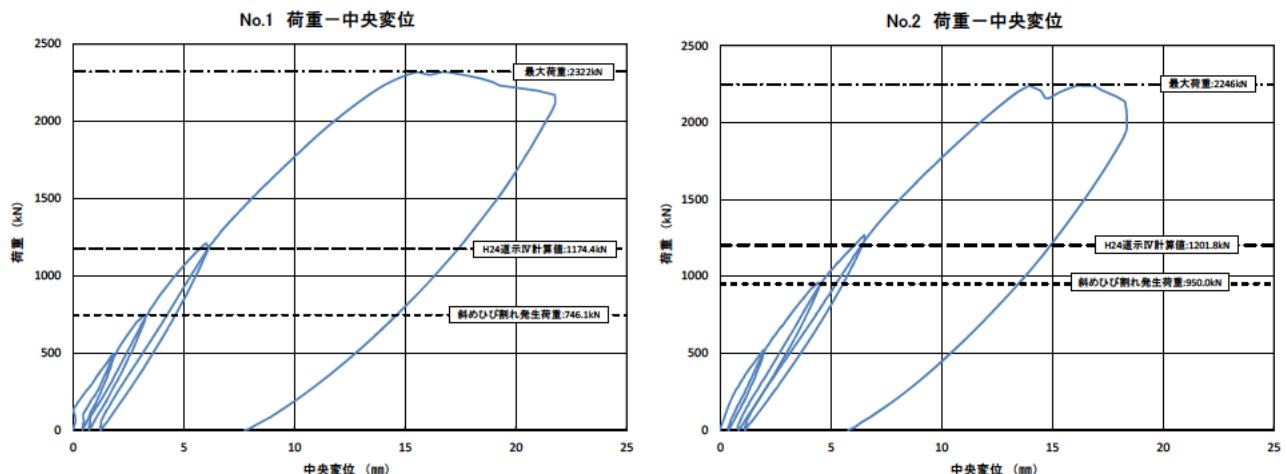


図 2.2.8 荷重一変位関係

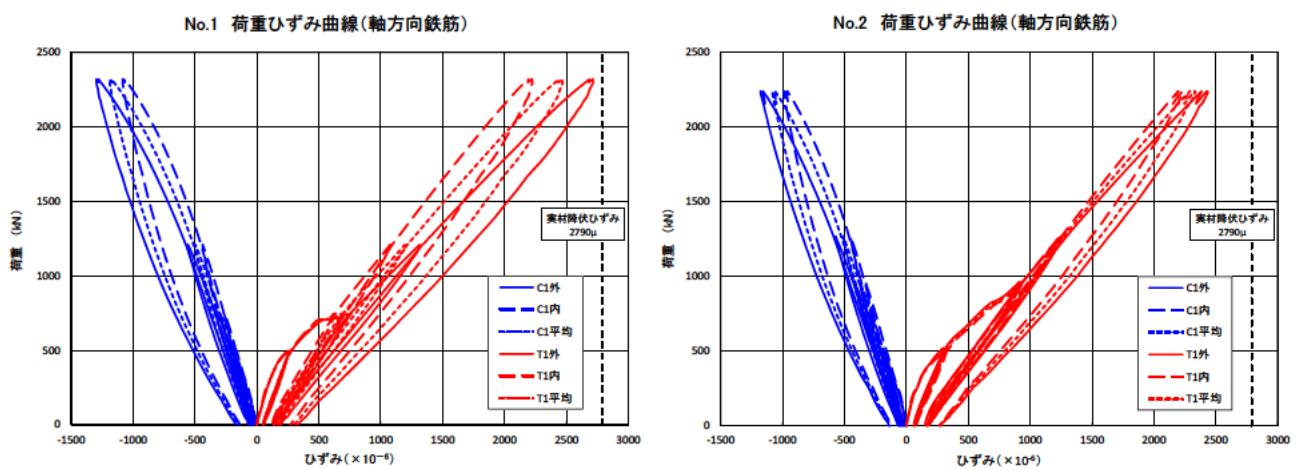


図 2.2.9 荷重一軸方向鉄筋のひずみ関係

表 2.2.7 せん断載荷試験結果

試 験 体 No.	斜めひび割れ 実測値		実材料強度 計算値		最大荷重 実測値		比 V_{su}/V_{su1}
	せん断 強度 $V_{cr}(kN)$	荷重 $P_{cr}(kN)$	せん断 強度 $V_{su1}(kN)$	荷重 $P_{su1}(kN)$	せん断 強度 $V_{su}(kN)$	荷重 $P_{su}(kN)$	
1	373.5	746.1	587.2	1174.4	1166.0	2322.0	1.99
2	475.0	950.0	600.9	1201.8	1123.0	2246.0	1.87

杭の帯鉄筋がせん断補強筋として機能しているかを確認するため、載荷荷重と帯鉄筋の 12 力所（No.2 は、8 力所）に取付けられたひずみの値との関係を整理した。図 2.2.10～図 2.2.13 に荷重と帯鉄筋のひずみの関係を示す。図 2.2.10、図 2.2.12 は、横軸のレンジを 500μ として、斜めひび割れ発生までの帯鉄筋のひずみを見るものである。図 2.2.11、図 2.2.13 は、0 荷重から最大荷重までの試験全体でのひずみを示したものである。なお、図 2.2.10 及び図 2.2.12 の横点線は、斜めひび割れ発生荷重を示し、図 2.2.11 及び図 2.2.13 の縦点線は、帯鉄筋の実材料引張試験による降伏ひずみを示している。ひずみゲージは、図 2.2.5 と図 2.2.6 に示す 2 カ所のせん断スパンの表側裏側に配置し、試験杭中央から 1,2,3 (No.2 は、1,2) のゲージ番号順に取り付けられている。

ここで、図中の凡例は下記の荷重サイクルを示す。

- 1 サイクル：常時計算荷重
- 2 サイクル：斜めひび割れ発生荷重
- 3 サイクル：帯鉄筋想定降伏荷重
- 4 サイクル：破壊荷重

また、写真 2.2.1～写真 2.2.8 および図 2.2.14～図 2.2.21 に杭体のせん断補強鉄筋と斜めひび割れの位置・傾斜との関係を示す。杭体には、杭表面に斜めひび割れ観察用に白塗りを施し、100mm 角のメッシュを引いてある。写真中には、青線でせん断補強鉄筋の位置を示し、緑線で斜めひび割れを示した。

1) No.1 $\phi 800 - 5.5m$ (フック式) SD345 せん断スパン比 1.5

せん断破壊 せん断耐力 1166.0kN (載荷荷重 2332.0kN)

図 2.2.10 より各せん断スパンの帯鉄筋ひずみは試験杭中央に近い部分 (1A,1C,1E,1G) のひずみが大きな値を示している。ゲージ番号 1G のひずみ値に着目すると目視による斜めひび割れ発生荷重 (746.1kN) 到達後において、急激にひずみの数値が上昇している。写真-2.2.1、写真 2.2.2 及び図 2.2.14、図 2.2.15 を比較すると斜めひび割れ発生位置とひずみゲージの位置に整合が取れていることが確認できた。

いずれのひずみの値も降伏ひずみを超えた時点から数値が急激に増加している。A および C のせん断スパンのひずみ値が大きく増加しているが、写真-2.2.1、写真 2.2.2 においても A および C のせん断スパンにせん断破壊が発生したことが観察できる。

表 2.2.7 から H24 道示IVによる計算値 587.2kN に対して試験値は 1166.0kN であり、計算値を大きく上回るせん断耐力が得られた。

最大荷重時の帯鉄筋ひずみは、 4786μ (降伏ひずみ : 2004μ) であったが、破断にはいたらなかった。

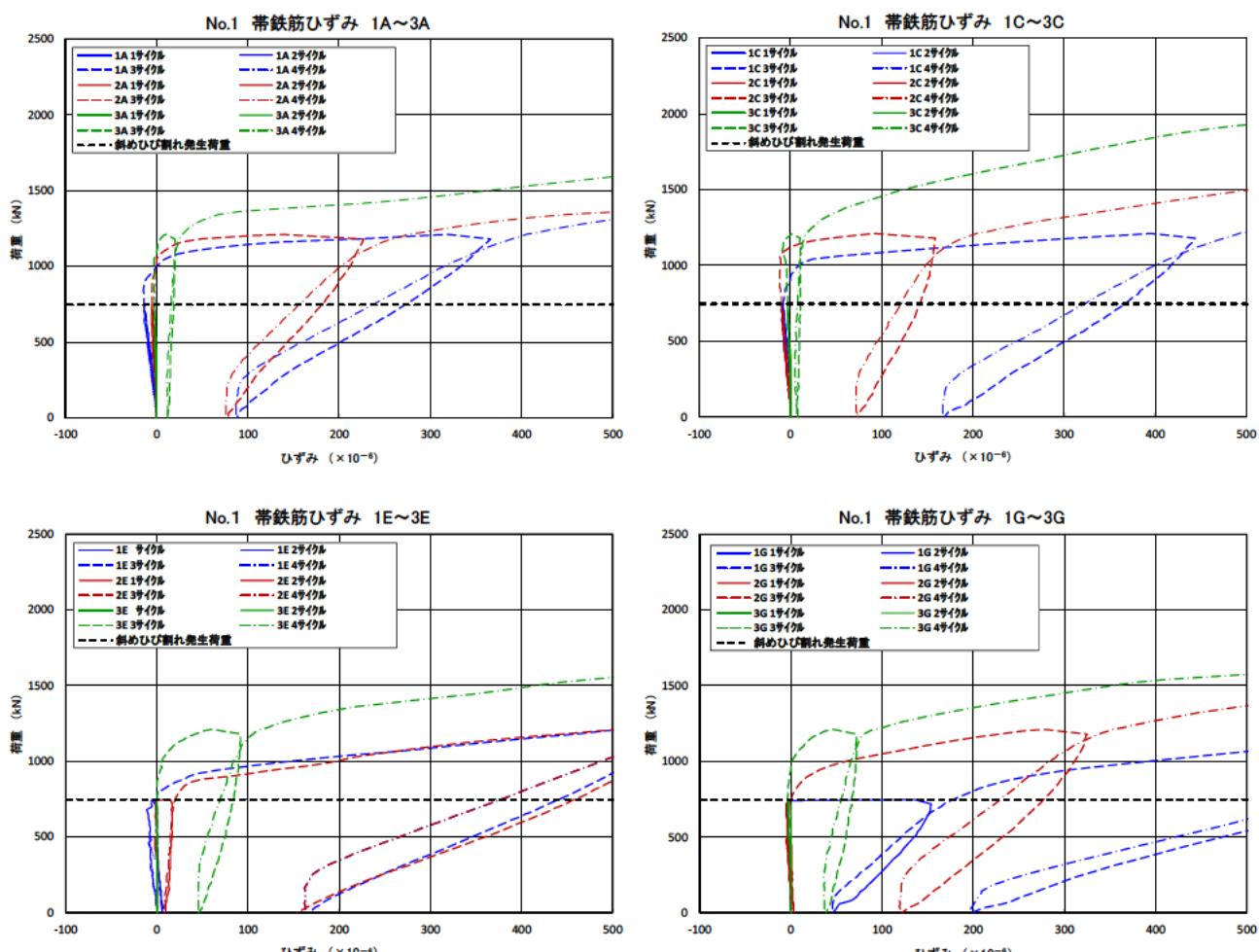


図 2.2.10 No.1 荷重ー帯鉄筋のひずみ関係 (斜めひび割れ発生荷重)

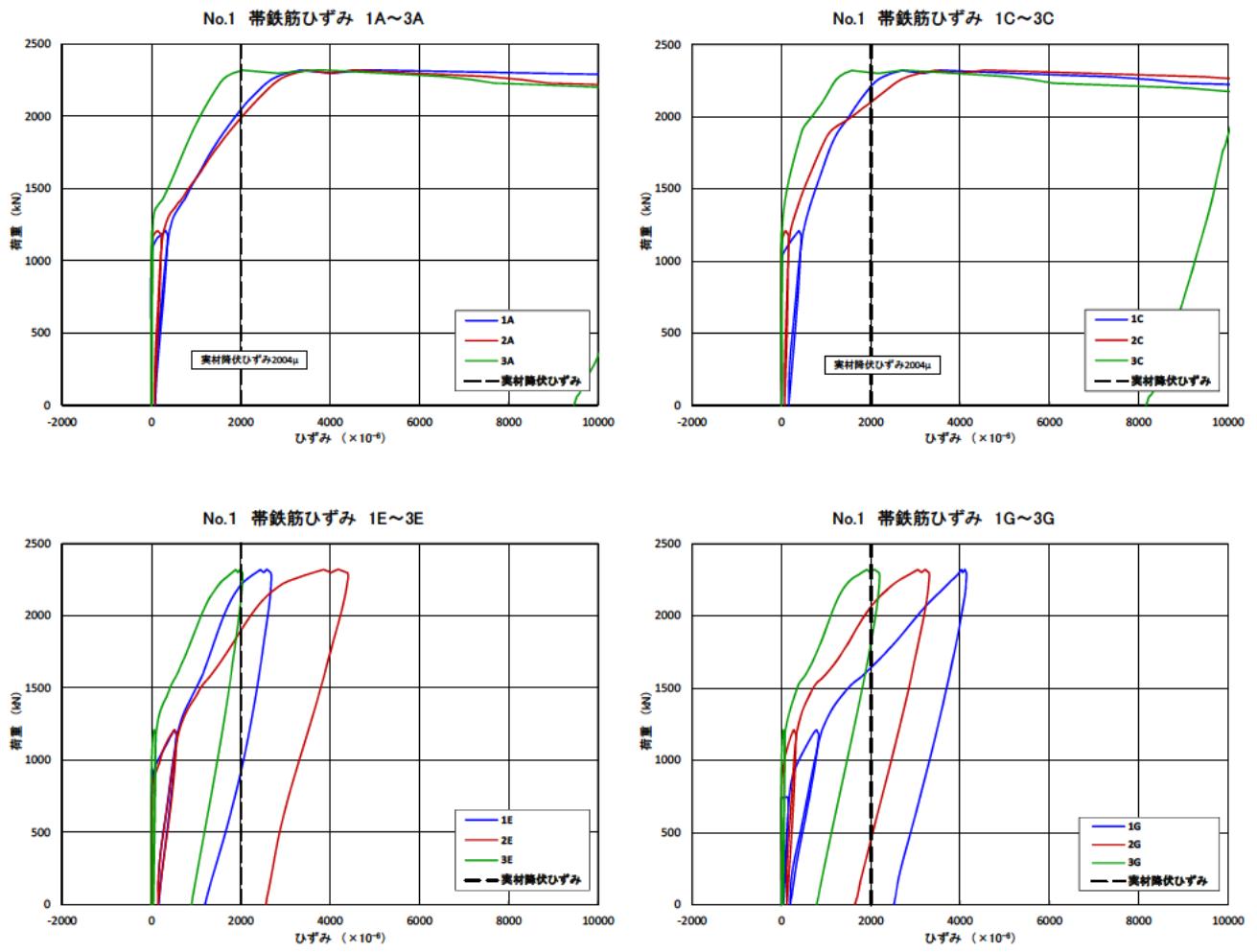


図 2.2.11 No.1 荷重一帯鉄筋のひずみ関係（帯鉄筋想定降伏荷重・破壊荷重）

2) No.2 $\phi 800 - 5.5m$ (スパイラル式) SD345 せん断スパン比 1.5

せん断破壊 せん断耐力 1123.0kN

図 2.2.12 より各せん断スパンの帯鉄筋ひずみは試験杭中央に近い部分 (1A,1C,1E,1G) のひずみが大きな値を示している。ゲージ番号 1A のひずみ値に着目すると目視による斜めひび割れ発生荷重到達後において、急激にひずみの数値が上昇している。写真-2.2.5、写真 2.2.6 及び図 2.2.18、図 2.2.19 と比較すると斜めひび割れ発生位置とひずみゲージの位置に整合が取れていることが確認できた。

いずれのひずみの値も降伏ひずみを超えた時点から数値が急激に増加している。A および C のせん断スパンのひずみ値が大きく増加しているが、写真-2.2.5、2.2.6においても A および C せん断スパンにせん断破壊が発生したことが観察できる。

表 2.2.7 から H24 道示IVによる計算値 600.9kN に対して試験値は 1123.0kN であり、計算値を大きく上回るせん断耐力が得られた。

最大荷重時の帯鉄筋ひずみは、 4384μ (降伏ひずみ : 2126μ) であったが、破断にはいたらなかった。

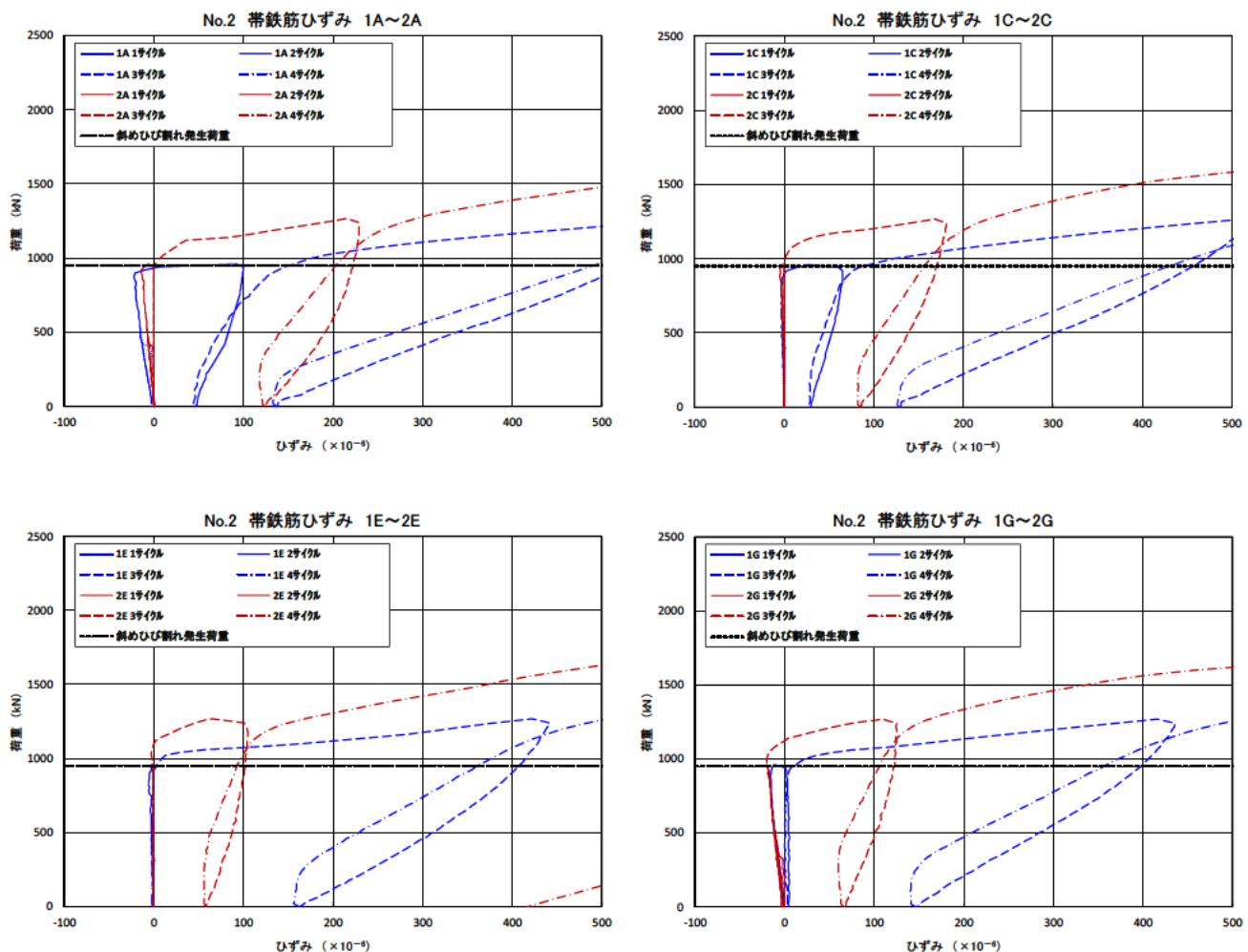


図 2.2.12 No.2 荷重ー帯鉄筋のひずみ関係 (斜めひび割れ発生荷重)

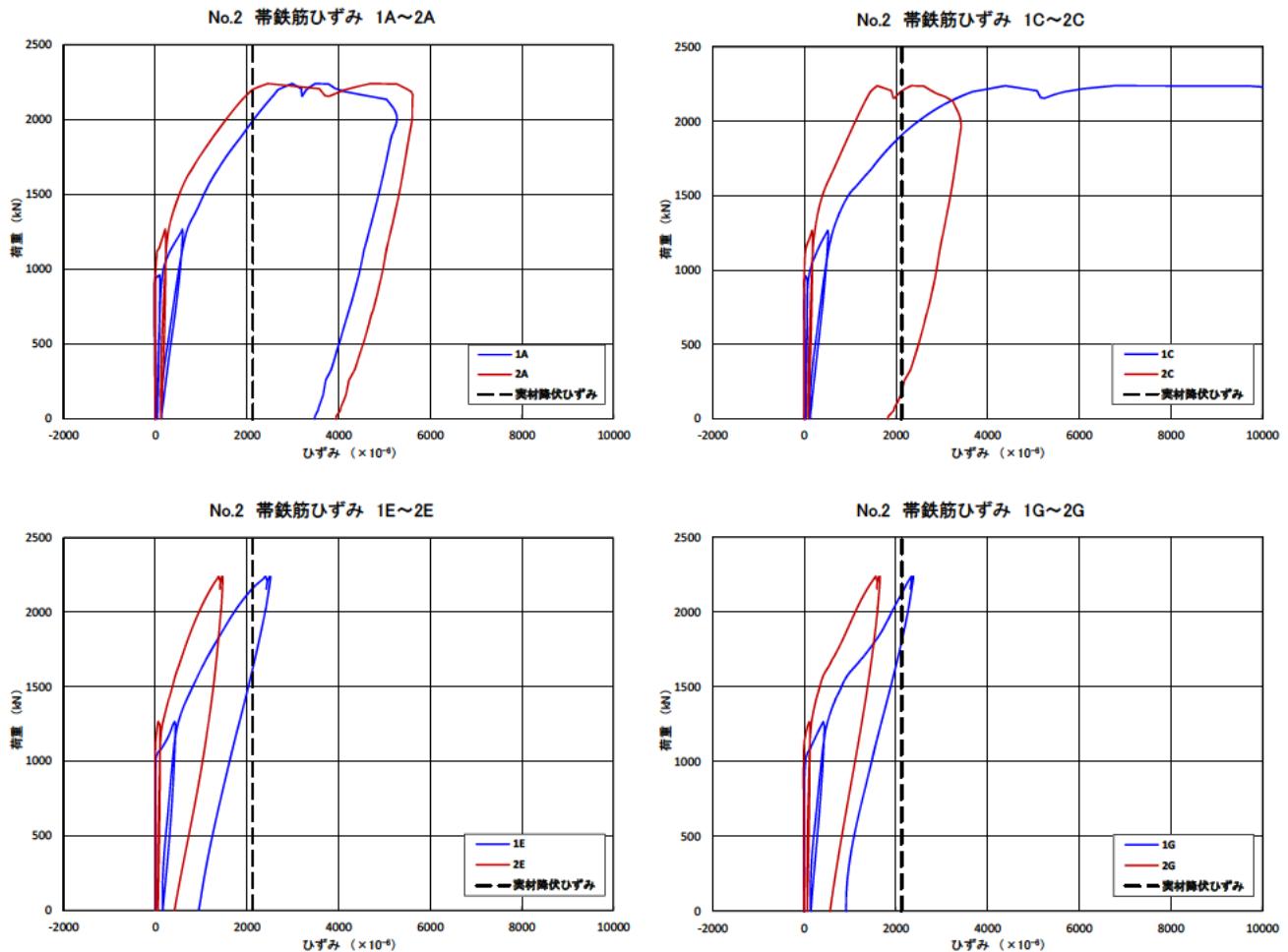


図 2.2.13 No. 2 荷重ー帯鉄筋のひずみ関係（帯鉄筋想定降伏荷重・破壊荷重）

せん断補強鉄筋として No.1 はフック式を 150mm ピッチで配筋、No.2 は、スパイラル式を 150mm ピッチで配筋している。No.1 の斜めひび割れは、A 面・C 面および E 面・G 面が同一のせん断スパンであるが、どちらのせん断スパンに発生した斜めひび割れも表裏同様の斜めひび割れとなっている。また、斜めひび割れの傾斜は、1:1～1:5 であった。

No.2 の斜めひび割れも No.1 と同様に A 面・C 面および E 面・G 面が同一のせん断スパンであるが、斜めひび割れの傾斜は、A 面が 1:1.5～1:3.3、C 面が 1:1.5～1:4.0、E 面が 1:1.2～1:3.0、G 面が 1:1.0～1:4.0 であった。図 2.2.18～図 2.2.21 より、A 面および E 面は斜めひび割れの傾斜とせん断補強鉄筋が交差する角度が小さい不利な角度に、C 面および G 面は斜めひび割れの傾斜とせん断補強鉄筋が交差する角度が大きい有利な角度となっているが、斜めひび割れの傾斜や破壊性状に大きな差は観察されなかった。これは試験体が表側裏側を含めて円形断面としてせん断力に抵抗しているためと考えられる。

No.1 ϕ 800-5.5m (フック式) せん断ひび割れ発生状況 A面

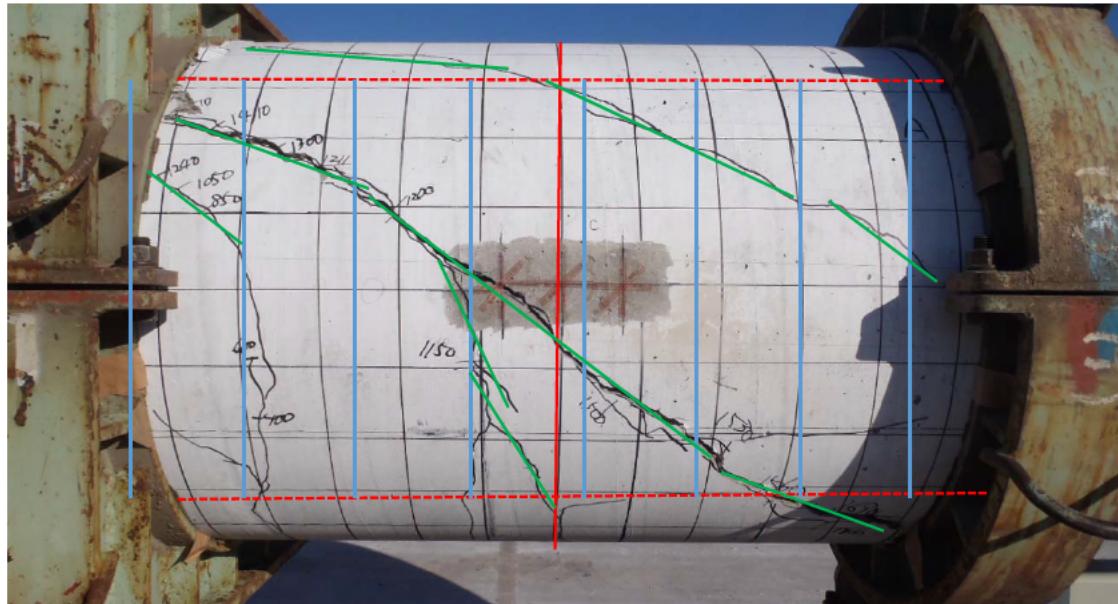


写真 2.2.1 No.1 A面 斜めひび割れ状況

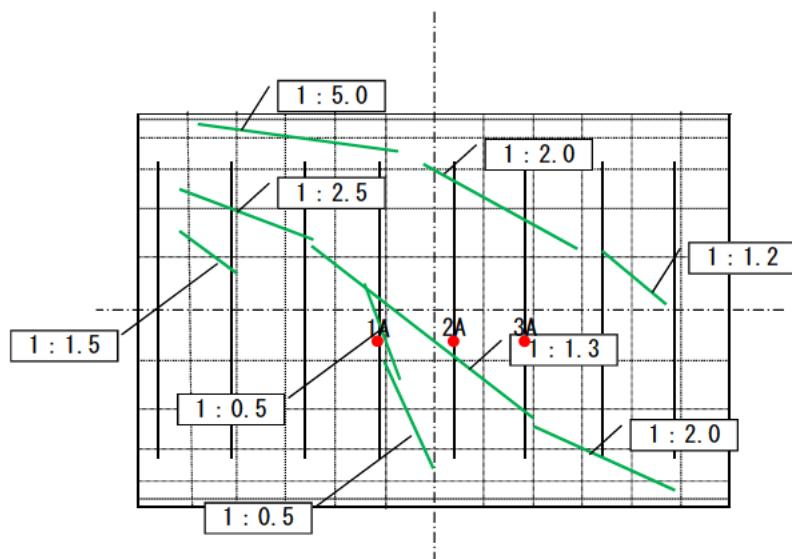


図 2.2.14 No.1 A面 せん断補強鉄筋と斜めひび割れの位置・傾斜との関係

No.1 ϕ 800-5.5m (フック式) せん断ひび割れ発生状況 C面

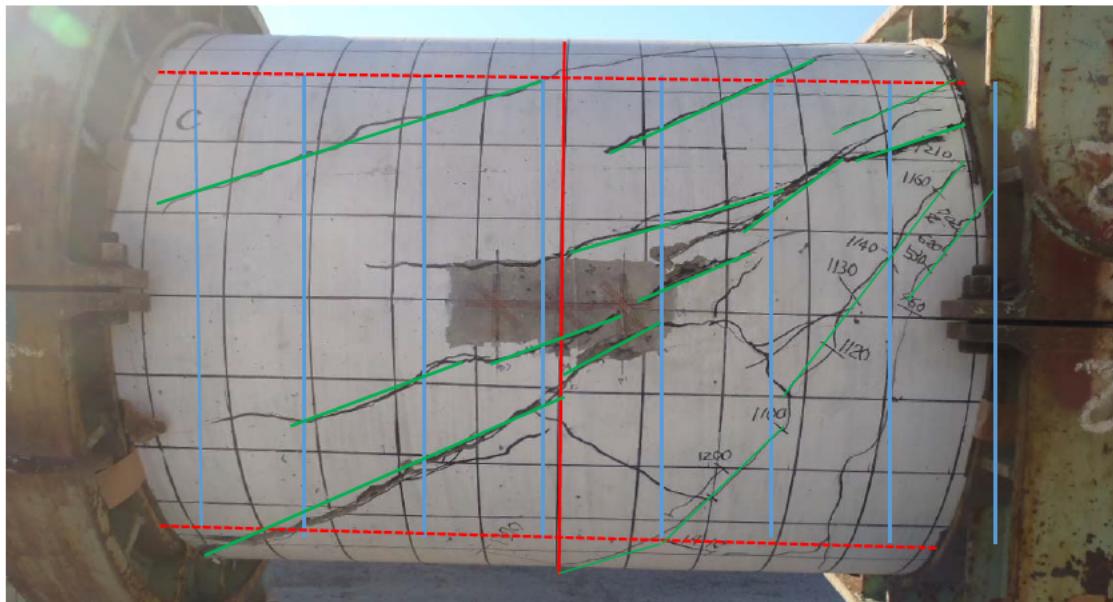


写真 2.2.2 No.1 C面 斜めひび割れ状況

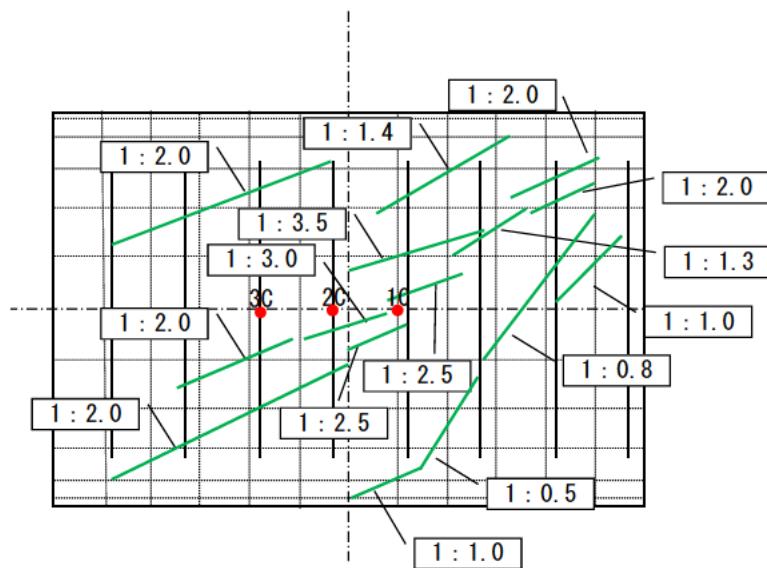


図 2.2.15 No.1 C面 せん断補強鉄筋と斜めひび割れの位置・傾斜との関係

No.1 ϕ 800-5.5m (フック式) せん断ひび割れ発生状況 E面

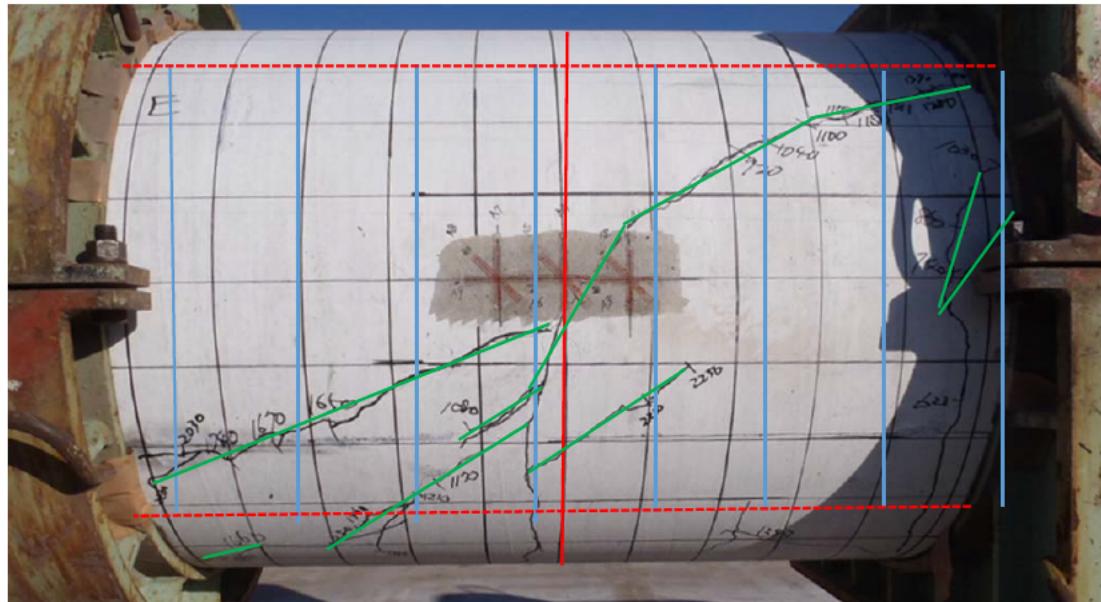


写真 2.2.3 No.1 E面 斜めひび割れ状況

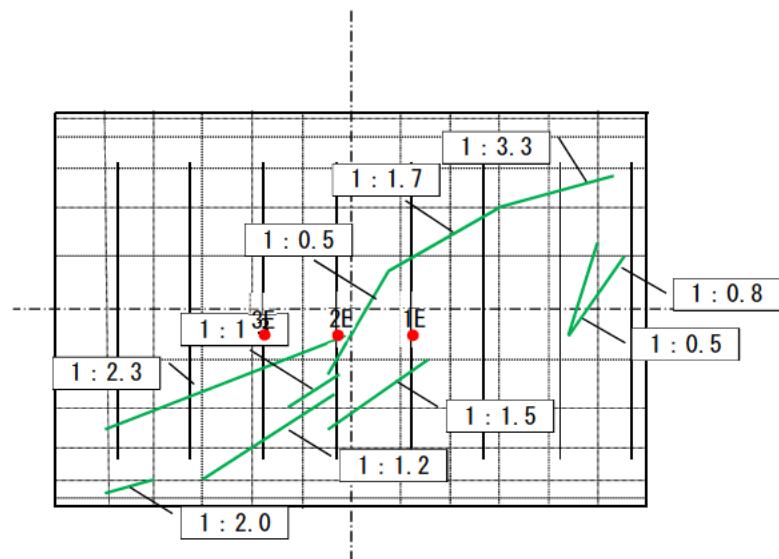


図 2.2.16 No.1 E面 せん断補強鉄筋と斜めひび割れの位置・傾斜との関係

No.1 ϕ 800-5.5m (フック式) せん断ひび割れ発生状況 G面

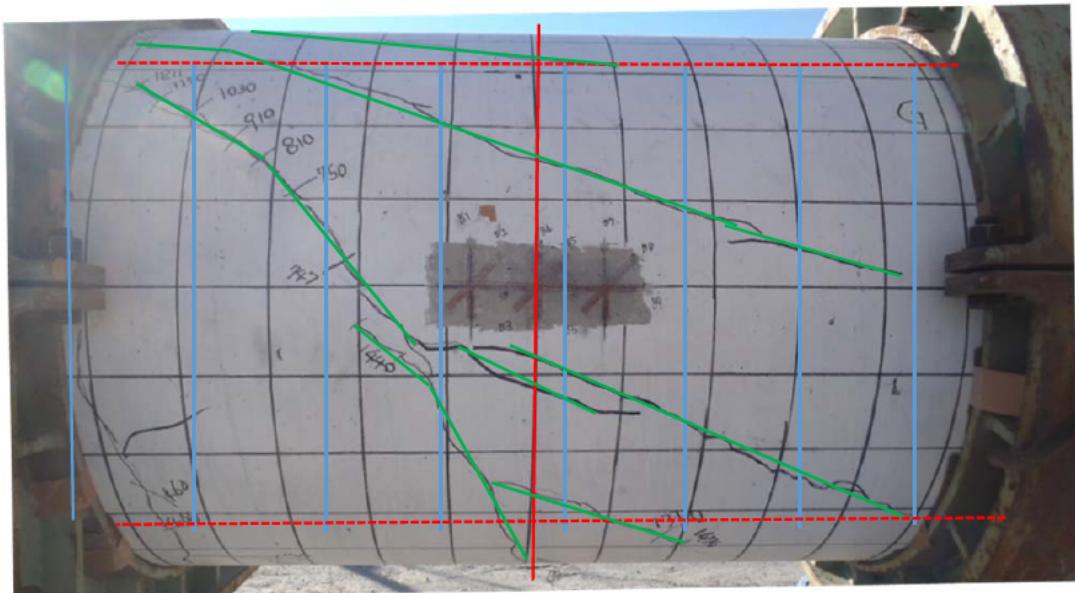


写真 2.2.4 No.1 G面 斜めひび割れ状況

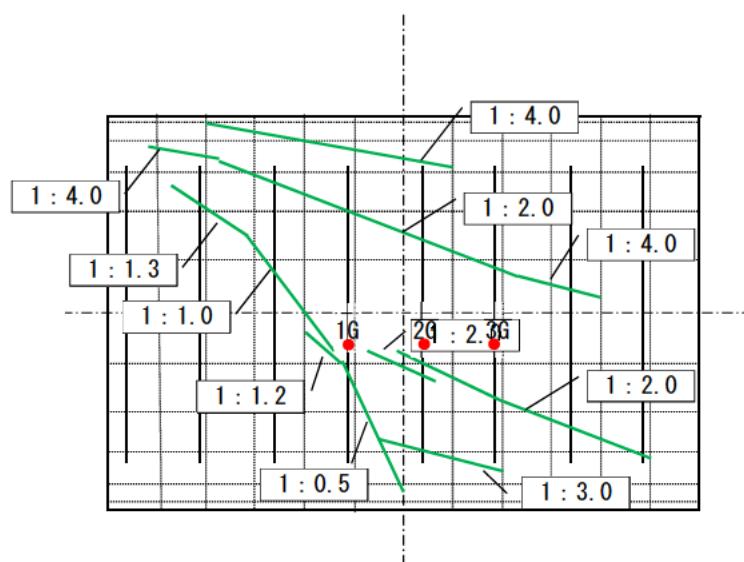


図 2.2.17 No.1 G面 せん断補強鉄筋と斜めひび割れの位置・傾斜との関係

No.2 ϕ 800-5.5m (スパイラル式) せん断ひび割れ発生状況 A面

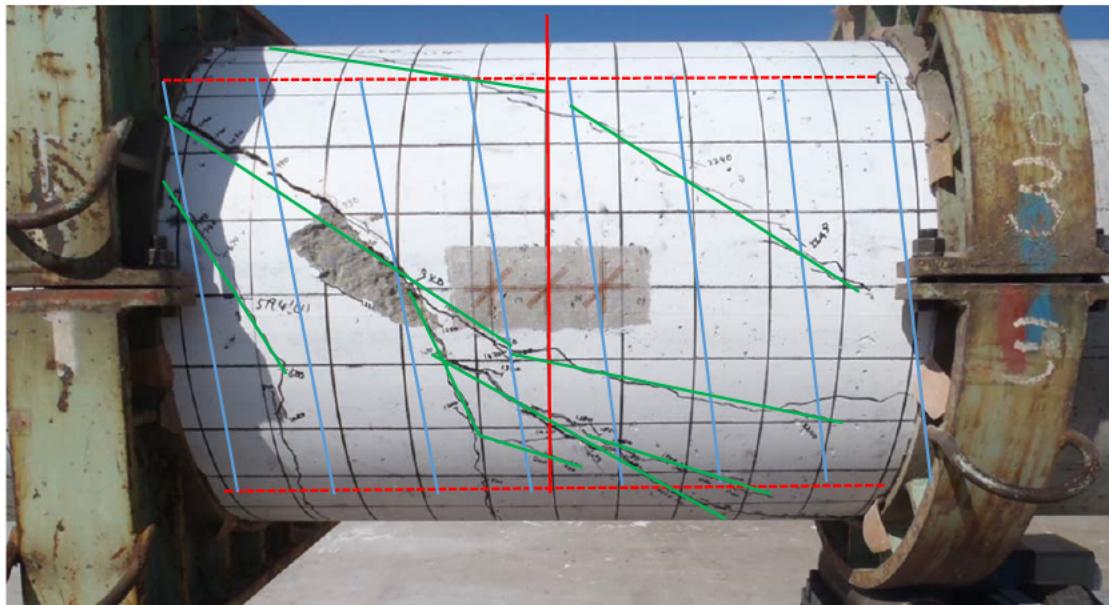


写真 2.2.5 No. 2 A面 斜めひび割れ状況

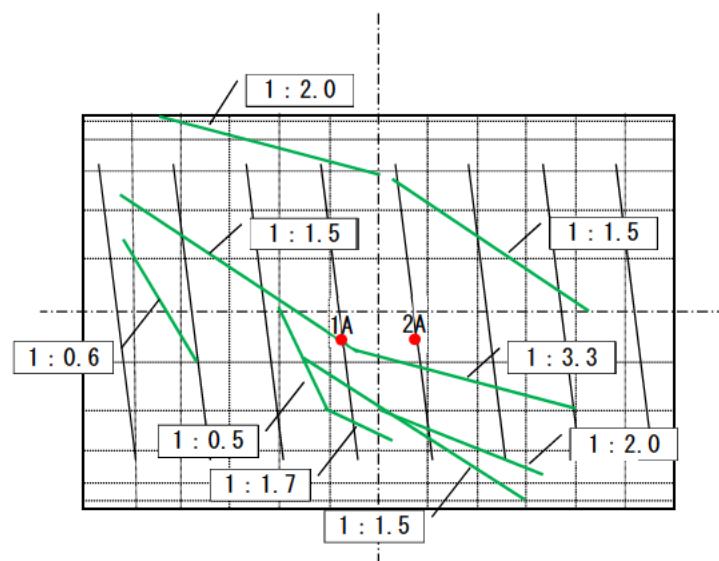


図 2.2.18 No. 2 A面 せん断補強鉄筋と斜めひび割れの位置・傾斜との関係

No.2 ϕ 800-5.5m (スパイラル式) せん断ひび割れ発生状況 C面

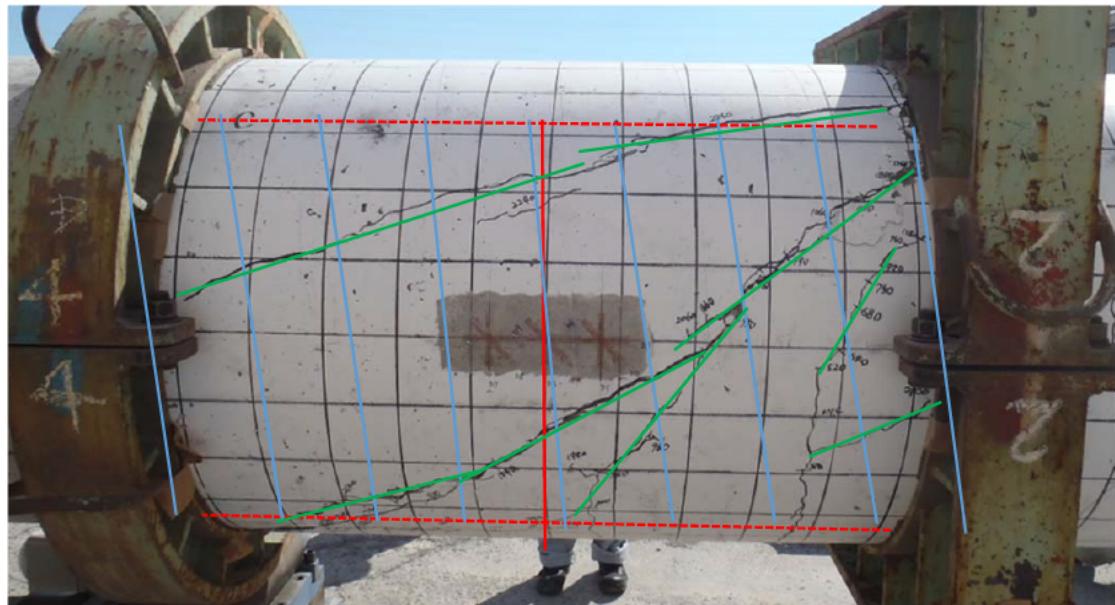


写真 2.2.6 No. 2 C面 斜めひび割れ状況

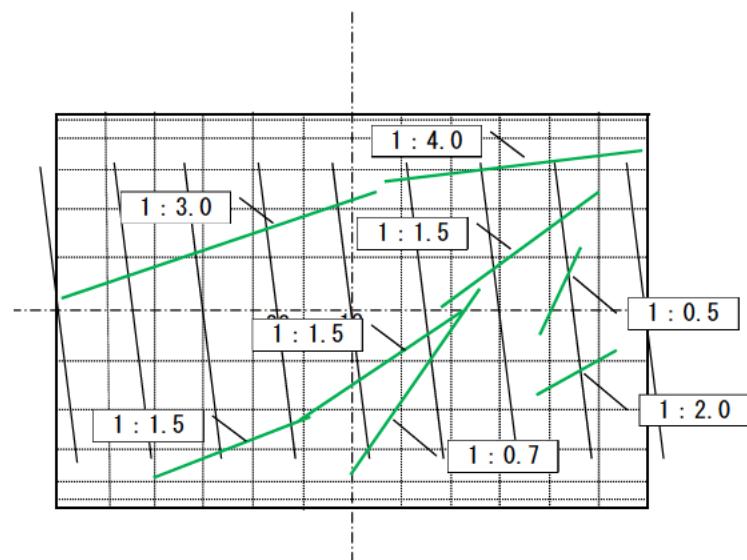


図 2.2.19 No. 2 C面 せん断補強鉄筋と斜めひび割れの位置・傾斜との関係

No.2 ϕ 800-5.5m (スパイラル式) せん断ひび割れ発生状況 E面

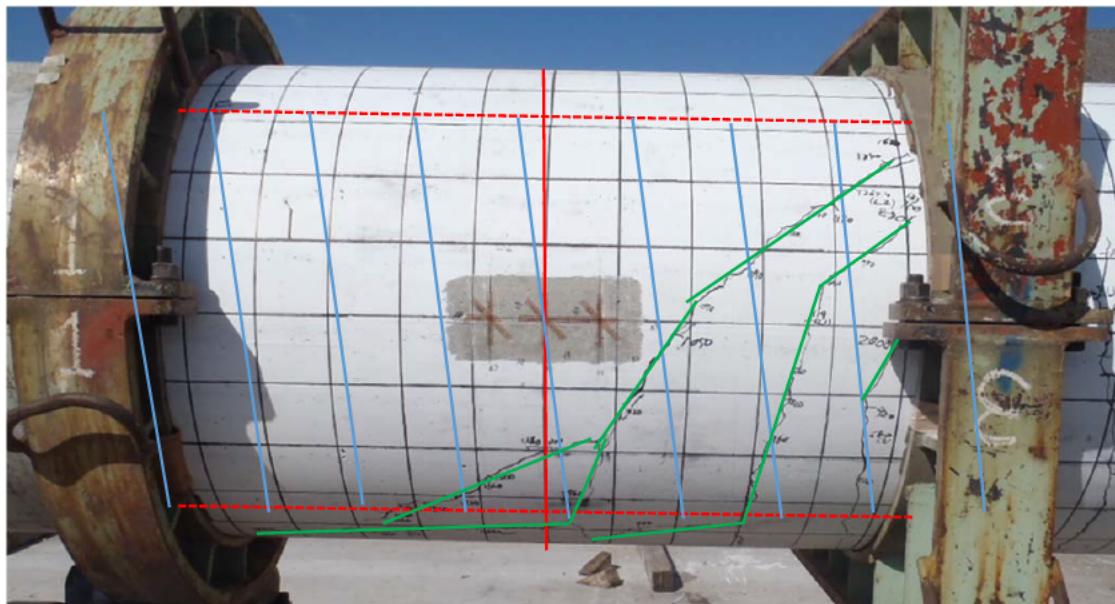


写真 2.2.7 No. 2 E面 斜めひび割れ状況

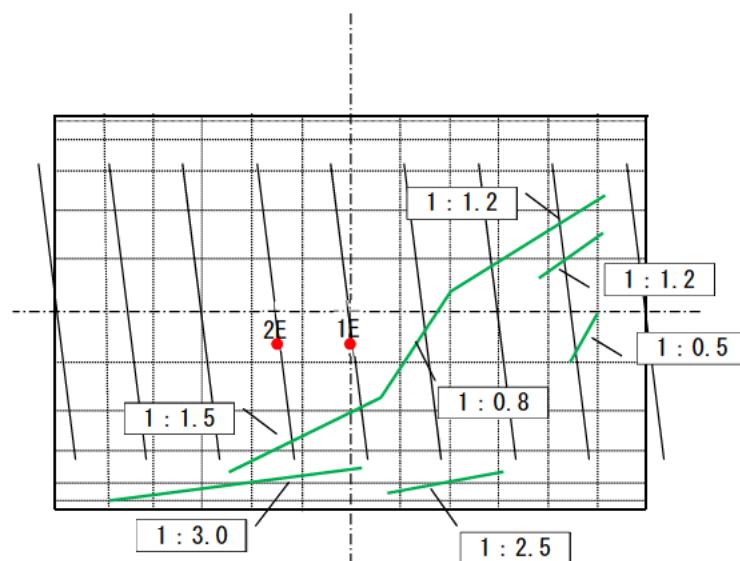


図 2.2.20 No. 2 E面 せん断補強鉄筋と斜めひび割れの位置・傾斜との関係

No.2 ϕ 800-5.5m (スパイラル式) せん断ひび割れ発生状況 G面

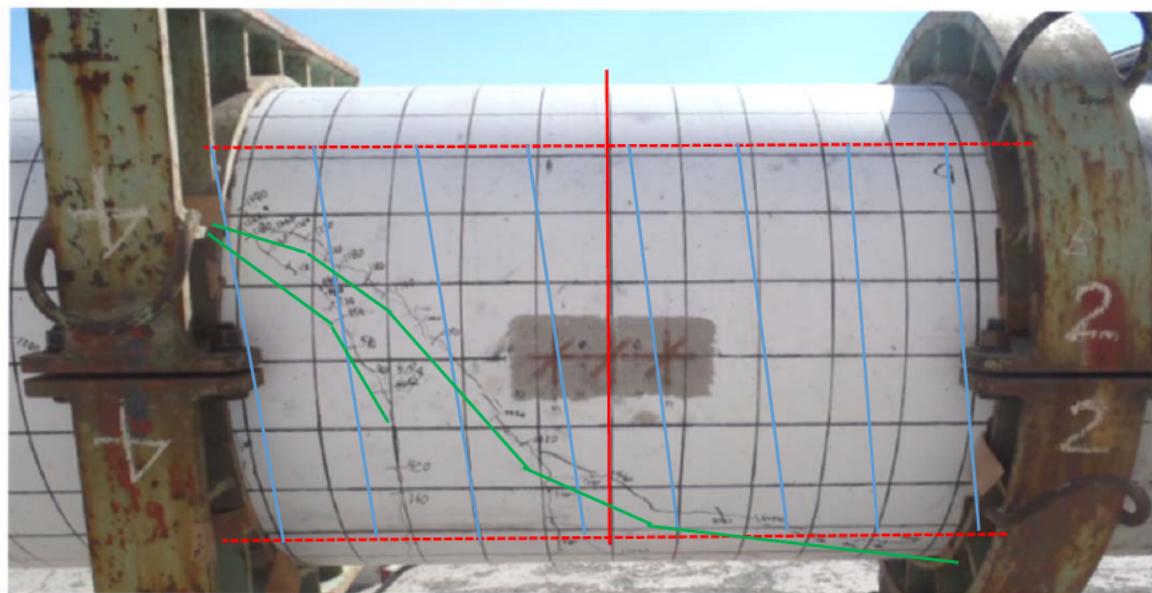


写真 2.2.8 No. 2 G面 斜めひび割れ状況

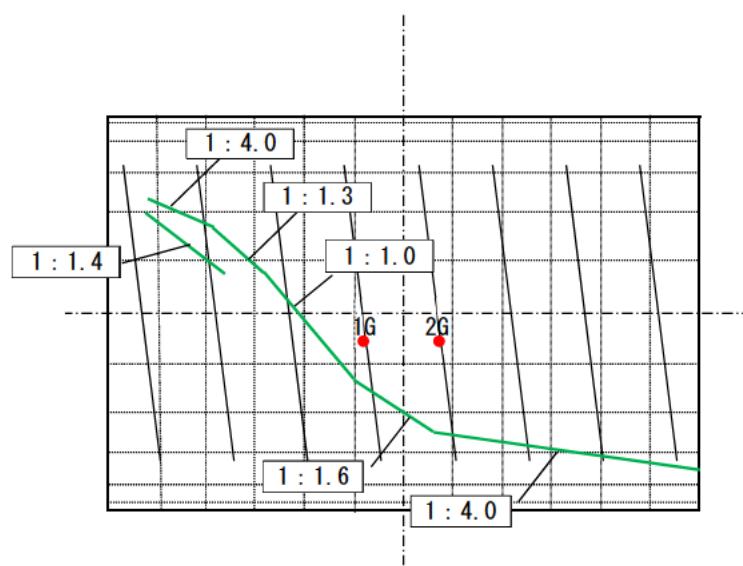


図 2.2.21 No. 2 G面 せん断補強鉄筋と斜めひび割れの位置・傾斜との関係

3. 帯鉄筋にスパイラル鉄筋を用いた場所打ち杭の正負交番曲げ載荷試験

3. 1 目的

本試験では、SD345 の帯鉄筋をフック式とスパイラル式により配筋した杭の正負交番曲げ載荷試験を行い、同等の耐力や変形能が得られるのかを確認した。

3. 2 正負交番曲げ載荷試験

3. 2. 1 試験概要

本試験は、「土木研究所資料第 3462 号 場所打ち杭の正負交番載荷試験（1996 年 11 月）」⁴⁾ を参考に、片持ち梁方式での正負交番載荷方法を行い、曲げひび割れおよび破壊性状を確認した。

3. 2. 2 試験項目一覧

主な試験項目は以下の 6 項目とし、載荷荷重と変位、軸方向鉄筋および帯鉄筋のひずみを連続的に測定した。

- (1) ひび割れ荷重、破壊荷重とその形態
- (2) ひび割れ発生状況
- (3) ひずみ測定
- (4) 変位量測定
- (5) コンクリートの圧縮強度、引張強度、ヤング率（表 3. 2. 3）
- (6) 軸方向鉄筋と帯鉄筋の引張強度とヤング率（表 3. 2. 4）

3. 2. 3 試験体および試験ケース

試験体諸元および試験ケースを表 3. 2. 1 に示す。試験体の杭径は、H24 道示IV の規定範囲 (800mm 以上) を満足するとともに、試験機の載荷能力を考慮して設定した。また既往の試験⁴⁾での試験体の杭径 800mm とも整合性がとれるようにした。帯鉄筋は、フック式配筋、スパイラル式配筋とともに H24 道示IV における「帯鉄筋の中心間隔を 150mm 以下、かつ鉄筋量は側断面積の 0.2% 以上とする」という規定を満足するとともに、既往の試験を参考にして、帯鉄筋の配筋量の下限値である D13@150mm とした。また、軸方向鉄筋は、H24 道示IV における軸方向鉄筋量 (0.4~6.0%) 、直径 (22mm 以上) 、純間隔 (鉄筋径の 2 倍又は粗骨材最大寸法の 2 倍の大きい方) 、本数 (6 本以上) の規定を満足するとともに、既往の試験を参考にして、16-D22 とした。軸方向鉄筋および帯鉄筋の材質は（一社）日本基礎建設協会の実績調査の結果（参考資料 4）を踏まえて、SD345 を用いることとした。なお、既往の試験では SD295 を用いていた。

表 3.2.1 試験体諸元

試験体 No.	杭 径 (mm)	長 さ (m)	軸方向鉄筋			帶鉄筋				コンクリート 強度 (N/mm ²)
			材質	仕様	鉄筋比 pg (%)	形状	材質	仕様	鉄筋比 pw (%)	
3	800	2.4	SD345	16-D22	1.23	フック式	SD345	D13@150	0.21	30
4	800	2.4	SD345	16-D22	1.23	スパイク式	SD345	D13@150	0.21	30

※杭長さは、フーチング埋込み部含まず。

3. 2. 4 載荷装置

載荷装置概略を図 3.2.1 に示す。RC フーチング内に試験体の接合部を 900mm 埋め込み、載荷点は RC フーチング上面から 2000mm (2.5D) の位置とした。これは既往の試験の載荷点と同じ位置である。

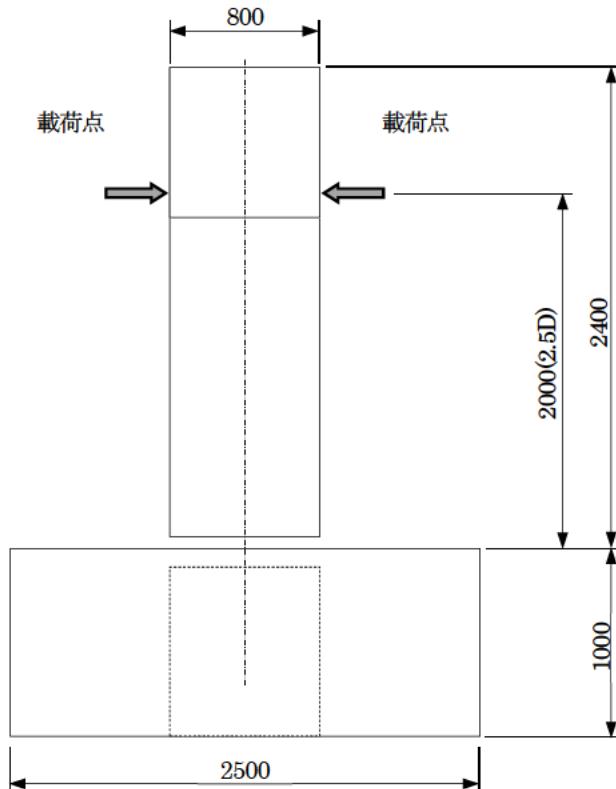


図 3.2.1 載荷装置概略

3. 2. 5 載荷方法

載荷重段階および変位を図 3.2.2 に示す。載荷重段階は計算ひび割れ荷重時・実測ひび割れ荷重時に 1 回、その後は各載荷重段階で 3 回の正負交番載荷を行う。実測降伏荷重時変位は軸方向鉄筋に貼り付けた引張側のゲージが降伏ひずみに至った時点の正側 1 回目を $1 \delta y$ とし、 $1 \delta y$ ずつ増加させながら最大載荷荷重 P_{max} の 6 割程度になるまで載荷を繰り返す。

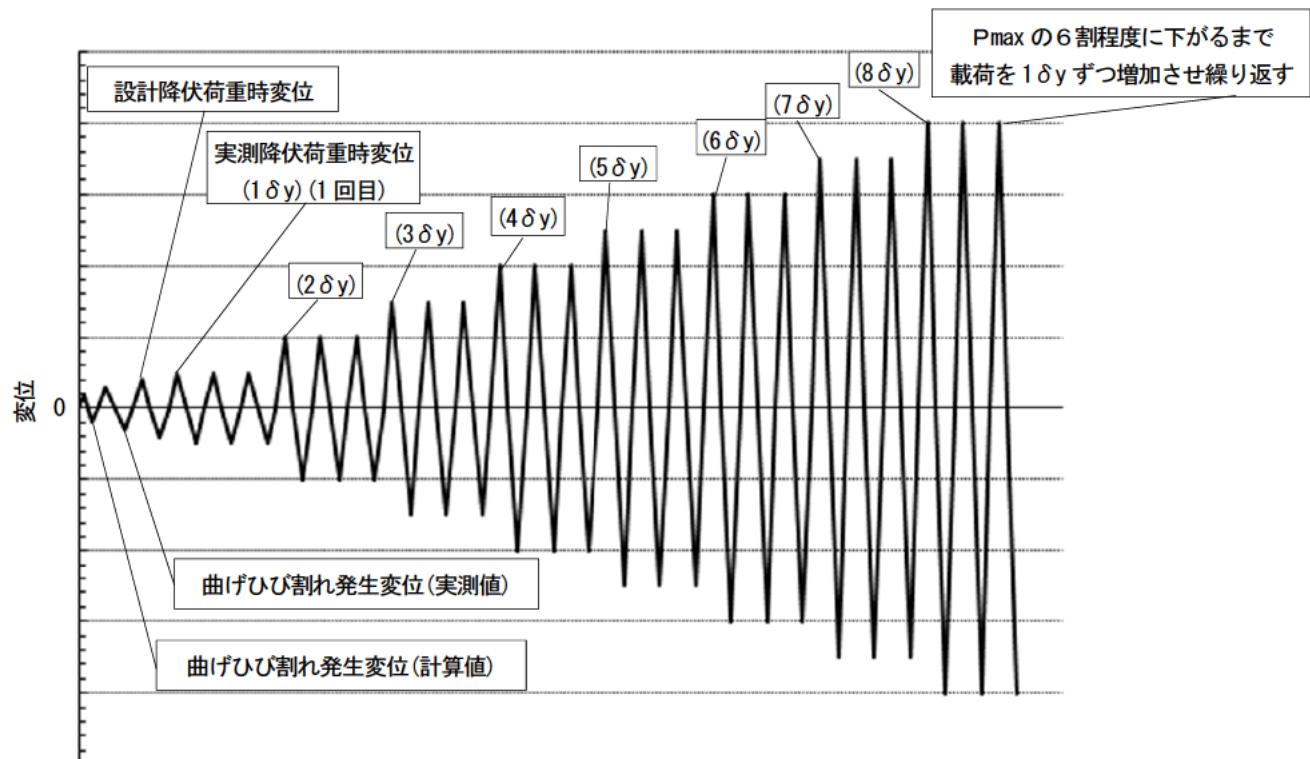


図 3.2.2 載荷重段階および変位

3. 2. 6 計測概要

変位計・ゲージ取り付け位置を図 3.2.3 および図 3.2.4 に示す。なお、変位計は変形状況などが詳細に確認できる位置に取り付けた。

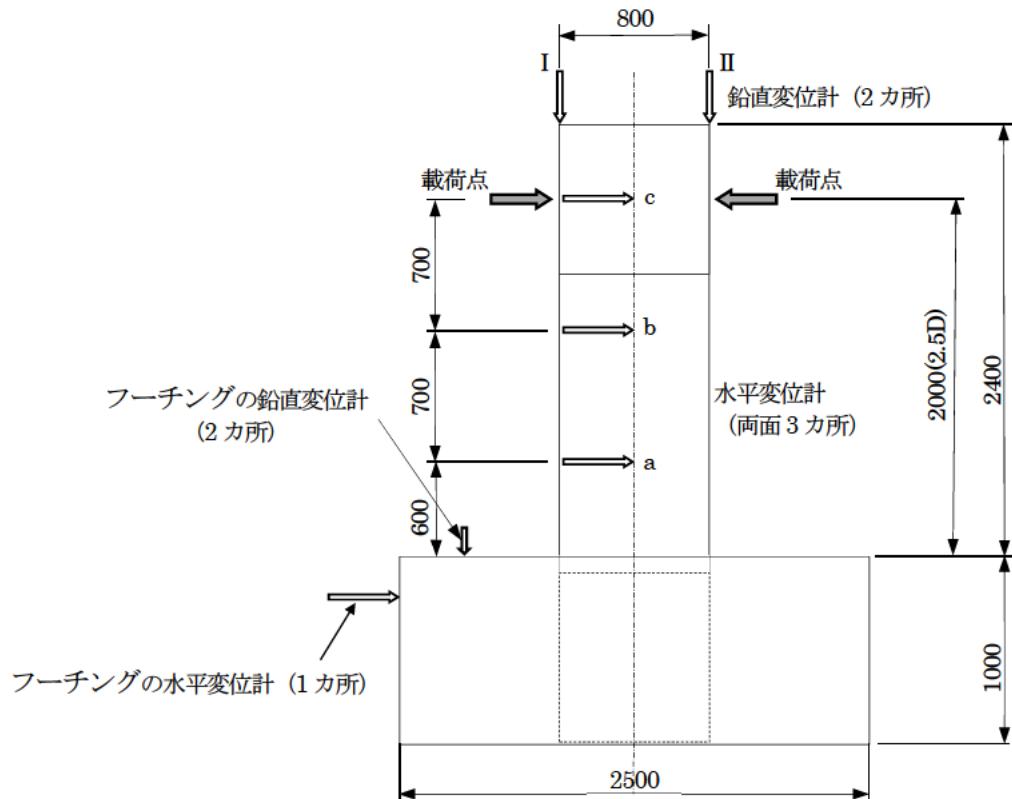


図 3.2.3 変位計取付位置図

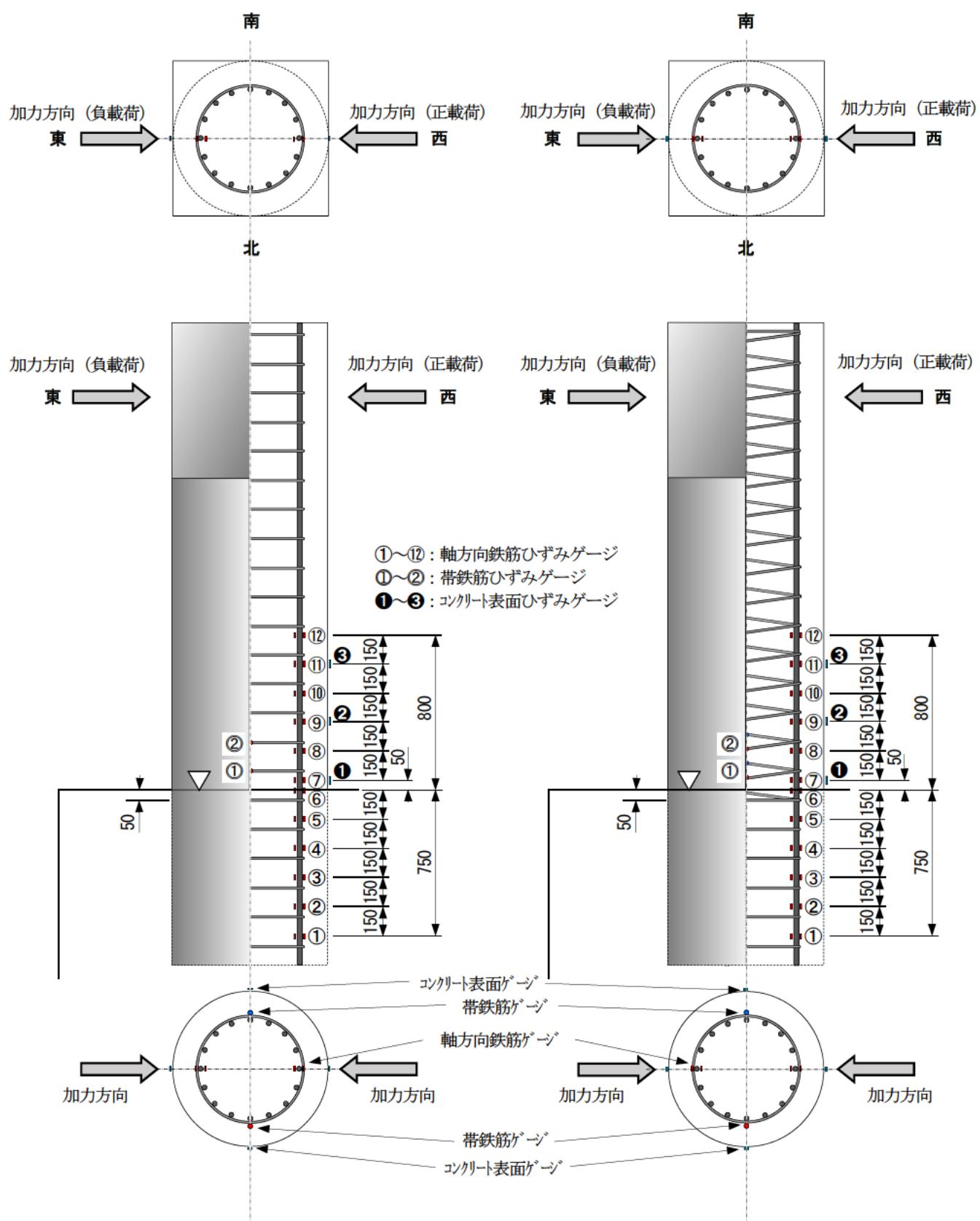


図3.2.4 ひずみゲージ取付位置図

(4) 試験体の計算曲げモーメント諸数値

試験体の設計値と計算値を表3.2.5に示す。設計値と計算値の定義は以下のとおりである。

設計値：H24 道示IVに示されているコンクリートおよび鉄筋の規格値を用いて計算した値。

(表3.2.6 コンクリート及び鉄筋の規格値を参照)

計算値：表3.2.3 および表3.2.4に示す試験結果を用いて計算した値。

表3.2.5 試験体の計算曲げモーメント諸数値

試験体 No.	曲げひび割れ時 モーメント (kN・m)	降伏時 モーメント (kN・m)	終局時 モーメント (kN・m)
3	設計値	119.6	435.0
	計算値	117.7	475.7
4	設計値	119.6	435.0
	計算値	118.5	476.6

表3.2.6 コンクリート及び鉄筋の規格値

コンクリート		鉄筋		
設計基準強度 σ_{cu} (N/mm ²)	ヤング率 E_c (N/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング率 (N/mm ²)
30	2.8×10^4	345	490	2.0×10^5

(5) 正負交番曲げ載荷試験結果

図3.2.5にNo.3の正負交番曲げ載荷試験の荷重一変位関係を、図3.2.6にNo.4の正負交番曲げ載荷試験の荷重一変位関係を示す。No.3およびNo.4共に、曲げ破壊にて試験が終了した。

載荷終了の判定は、載荷サイクル毎の最大荷重が試験全体の最大荷重の6割程度に低下したことを確認し、載荷終了とした。

図3.2.7にNo.3の杭体変位の分布図を、図3.2.8にNo.4の杭体変位の分布図を示す。図3.2.9にNo.3の軸方向鉄筋のひずみ分布図を、図3.2.10にNo.4の軸方向鉄筋のひずみ分布図を示す。

図3.2.11にNo.3の帶鉄筋のひずみ分布図を、図3.2.12にNo.4の帶鉄筋のひずみ分布図を示す。

図3.2.11、図3.2.12に示すとおり、試験時(0~48)の帶鉄筋のひずみゲージの計測値から、No.3(フック式)の帶鉄筋降伏ひずみ 1892μ 、No.4(スパイラル式)の帶鉄筋降伏ひずみ 2125μ に対し、試験中48yまでの最大ひずみは何れの試験体も 1500μ 以内であり、最大載荷荷重サイクル(No.3:3δy、No.4:2δy)には、帶鉄筋が降伏には至らなかつたことを確認した。

No.3およびNo.4の正負交番曲げ載荷試験結果を表3.2.7に示す。No.3およびNo.4ともに曲げひび割れ時、降伏時、最大時の曲げモーメントの実測値は設計値および計算値を上回る結果であった。

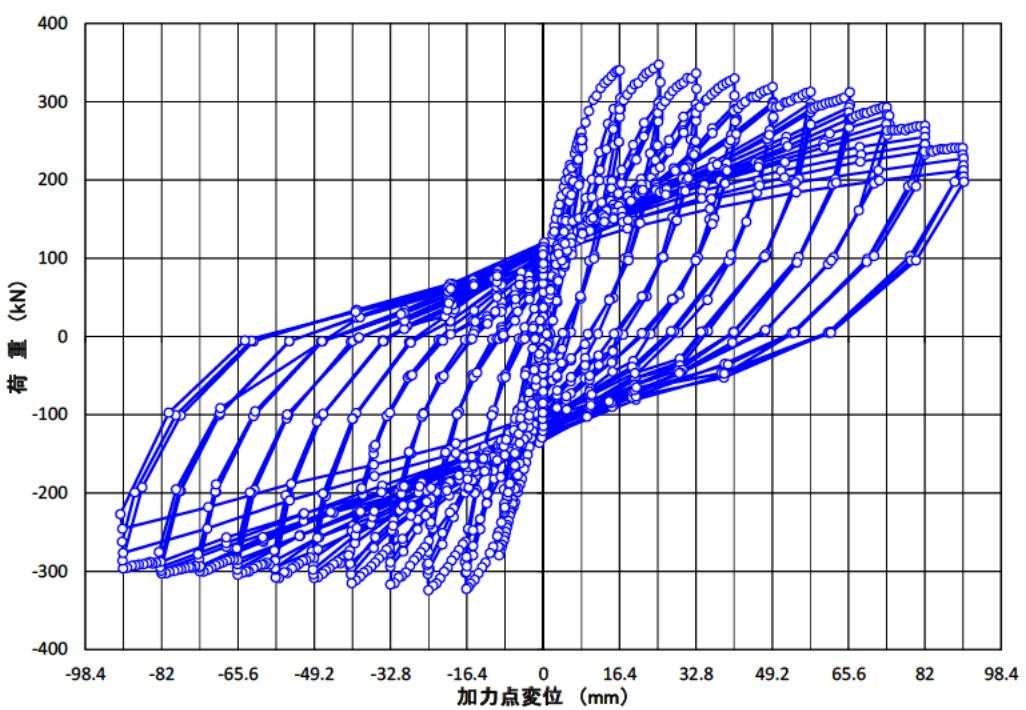


図 3.2.5 No. 3 (フック式) 荷重一変位関係

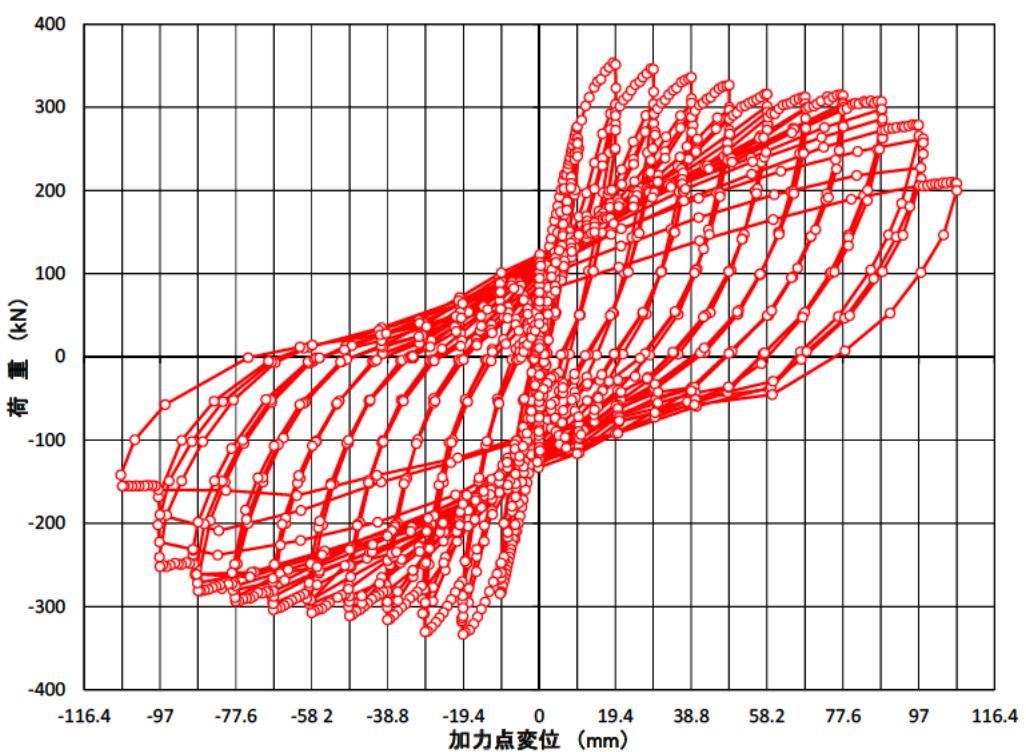


図 3.2.6 No. 4 (スパイラル式) 荷重一変位関係図

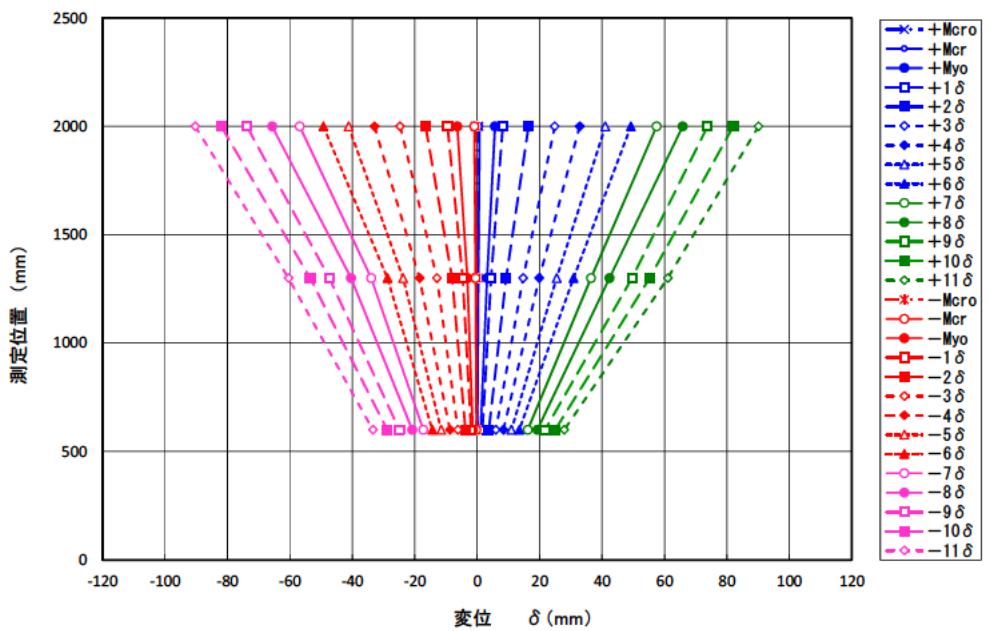


図 3.2.7 No. 3 (フック式) 桁体変位の分布図

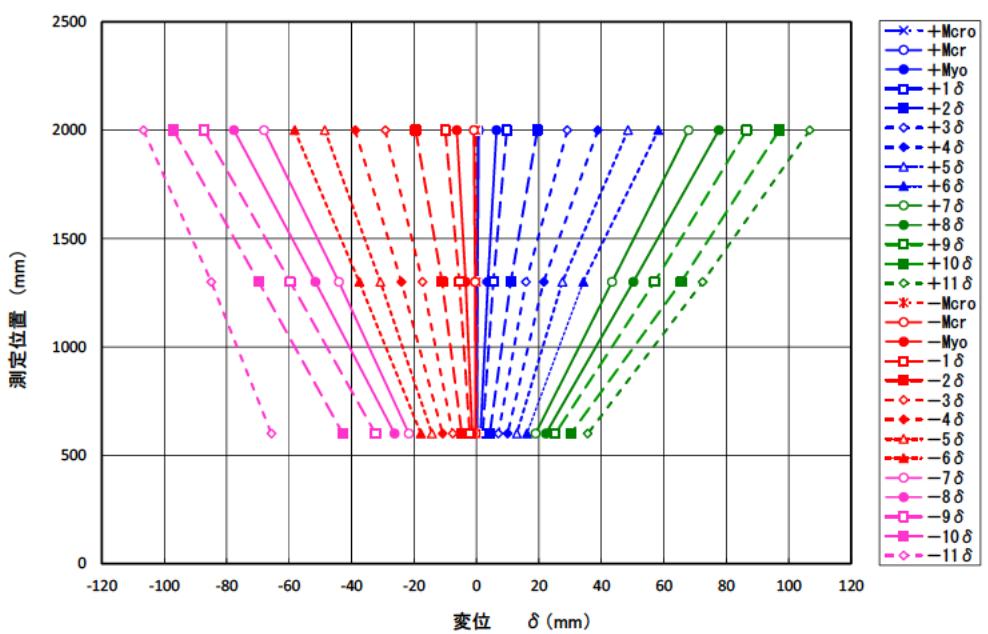


図 3.2.8 No. 4 (スパイラル式) 桁体変位の分布図

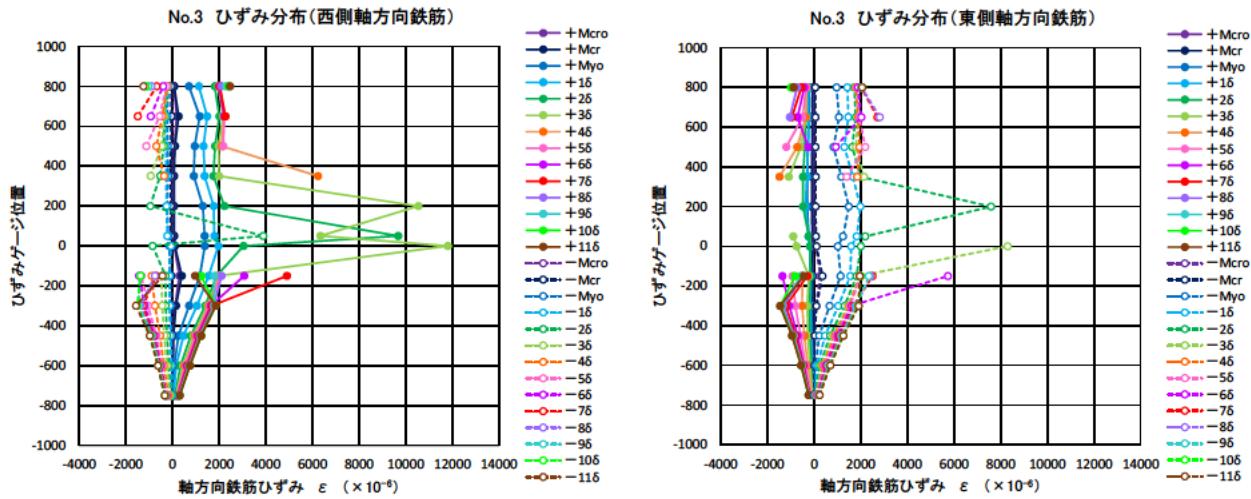


図 3.2.9 No. 3 (フック式) 軸方向鉄筋のひずみ分布図

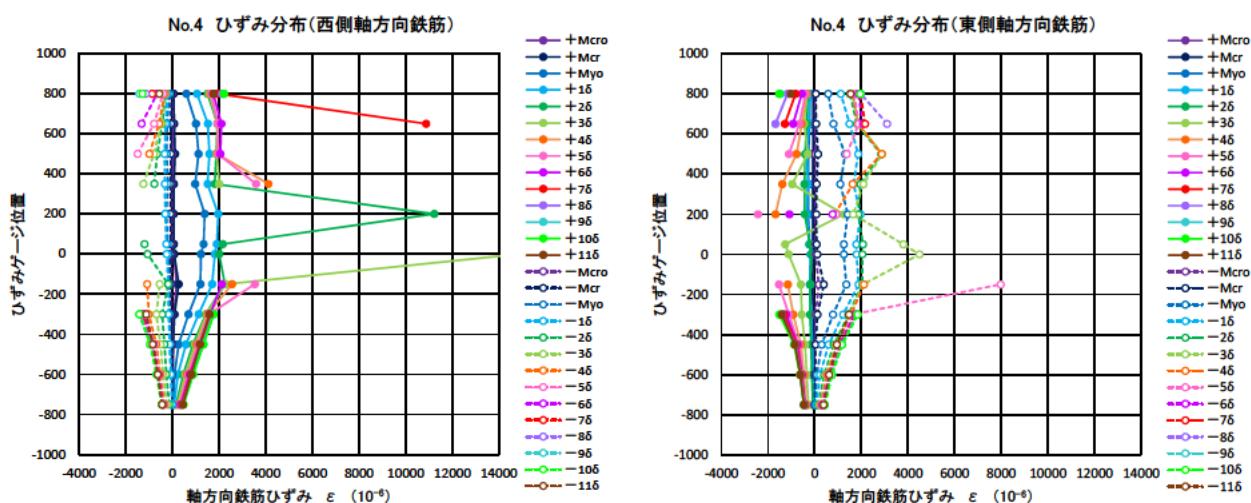


図 3.2.10 No. 4 (スパイラル式) 軸方向鉄筋のひずみ分布図

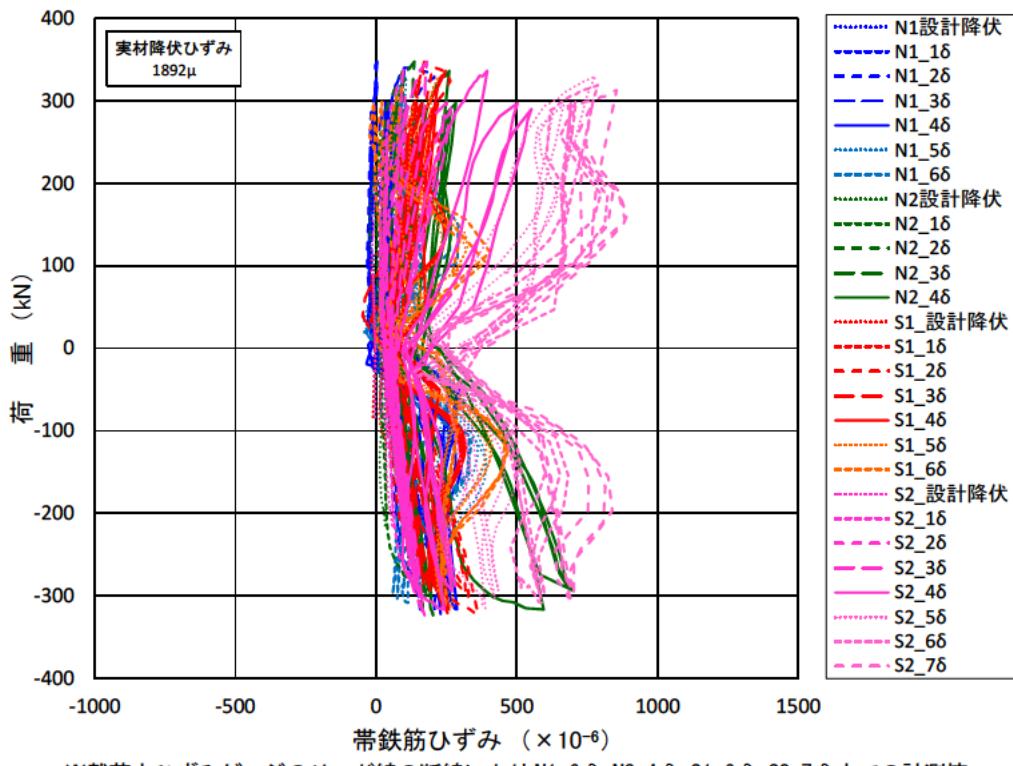


図 3.2.11 No. 3(フック式) 帯鉄筋のひずみ分布図

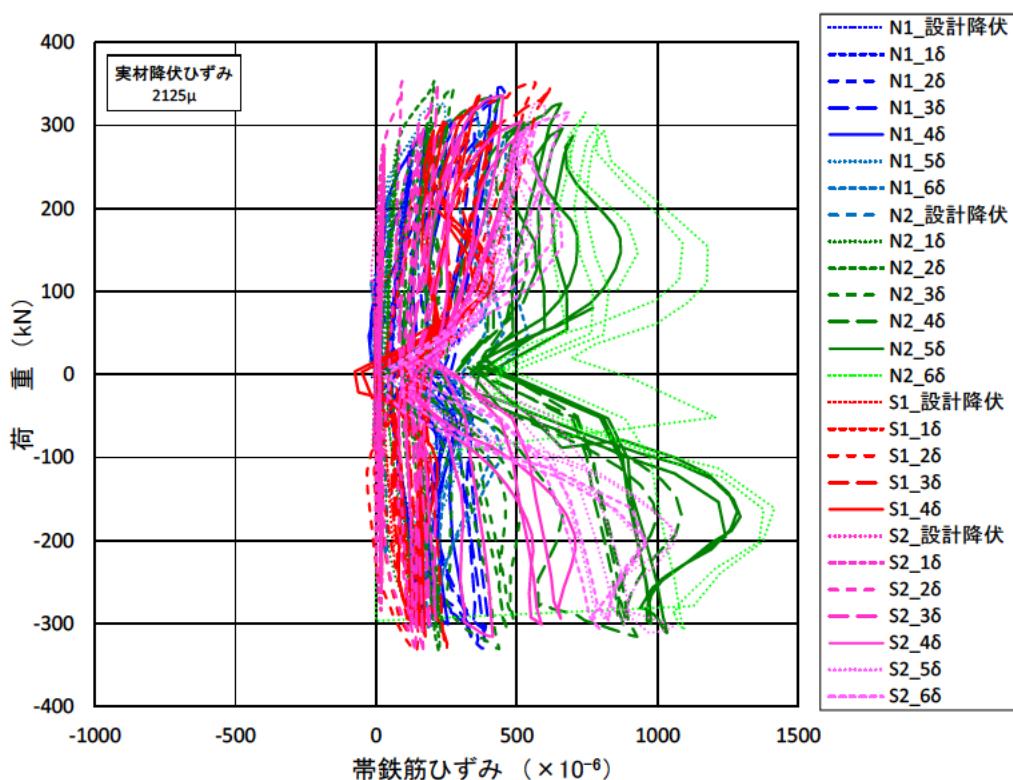


図 3.2.12 No. 4(スパイラル式) 帯鉄筋のひずみ分布図

表 3.2.7 正負交番曲げ載荷試験結果一覧表

試験 体 No.			実測値	設計値 (実測値/設計値)	計算値 (実測値/計算値)
3	曲げひび 割れ時	曲げモーメント (kN・m) [荷重] [(kN)]	正側 : 181.6 [90.8] 負側 : 172.2 [86.1]	119.6 (正側 : 1.52) (負側 : 1.44)	117.7 (正側 : 1.54) (負側 : 1.46)
	降伏時	曲げモーメント (kN・m) [荷重] [(kN)]	正側 : 522.6 [261.3] 負側 : 558.8 [279.4]	435.0 (正側 : 1.20) (負側 : 1.28)	475.7 (正側 : 1.10) (負側 : 1.17)
	最大時	曲げモーメント (kN・m) [荷重] [(kN)]	正側 : 694.6 [347.3] 負側 : 648.0 [324.0]	522.9 (正側 : 1.33) (負側 : 1.24)	577.0 (正側 : 1.20) (負側 : 1.12)
4	曲げひび 割れ時	曲げモーメント (kN・m) [荷重] [(kN)]	正側 : 154.0 [77.0] 負側 : 180.0 [90.0]	119.6 (正側 : 1.29) (負側 : 1.50)	118.5 (正側 : 1.30) (負側 : 1.52)
	降伏時	曲げモーメント (kN・m) [荷重] [(kN)]	正側 : 553.2 [276.6] 負側 : 569.2 [284.6]	435.0 (正側 : 1.27) (負側 : 1.31)	476.6 (正側 : 1.16) (負側 : 1.19)
	最大時	曲げモーメント (kN・m) [荷重] [(kN)]	正側 : 707.0 [353.5] 負側 : 666.6 [333.3]	522.9 (正側 : 1.35) (負側 : 1.27)	578.9 (正側 : 1.22) (負側 : 1.15)

※ [] 内の数値は、実測での最大曲げモーメント発生時の荷重を示す。

(6) 損傷の進展と破壊性状

損傷の進展と破壊性状について、試験体別に示す。なお、載荷時の定点記録写真撮影および曲げひび割れ観察は、図 3.2.13 に示すとおりの方向から行った。

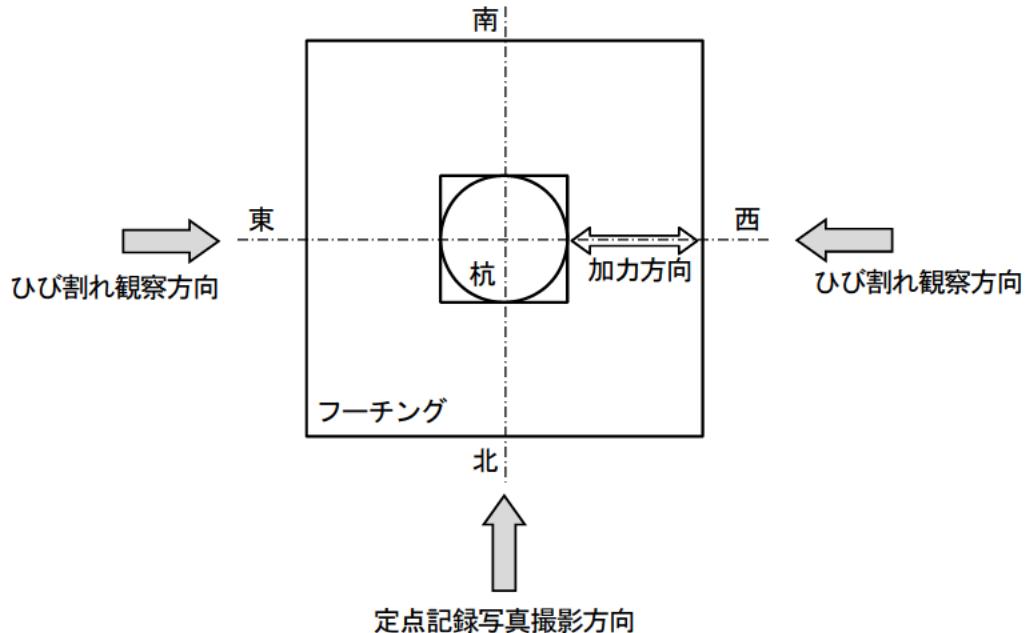


図 3.2.13 試験体観察位置図

1) No.3 (フック式)

図 3.2.14～図 3.2.24、写真 3.2.1～写真 3.2.11 に杭体におけるひび割れ発生および損傷の進展状況を示す。

ひび割れ荷重の載荷では、正荷重時に水平方向のひび割れが 1 本生じ、負荷重載荷時には、水平方向にわずかなひび割れが生じた。設計降伏荷重の載荷では、水平方向に 3 本のひび割れが生じた。 $1 \delta y$ から $3 \delta y$ の載荷では、水平方向のひび割れが徐々に進行し、 $3 \delta y$ 載荷時に 4 本目のひび割れが発生した。また、鉛直方向および斜め方向のひび割れが徐々に発生した。 $4 \delta y$ から $8 \delta y$ の載荷では、フーチングの境界面から 20cm の間に鉛直方向および斜め方向のひび割れが多数発生した。 $9 \delta y$ の載荷では、フーチングの境界面から 20cm の範囲、 $10 \delta y$ の載荷では 50cm の範囲でかぶりコンクリートの剥離が発生した。 $11 \delta y$ の載荷では、東面のかぶりコンクリートの剥落箇所の軸方向鉄筋に座屈が観察された。破壊性状は、曲げ破壊であり、せん断的な挙動は確認されなかった。

No.3 の載荷後に脱落したかぶりコンクリートおよび剥離したかぶりコンクリートを除去し、かぶりコンクリート内部を観察した。載荷後の試験体写真を写真 3.2.12～写真 3.2.15 に示す。

鉄筋かご内部のコアコンクリートは、断面中心部まで亀裂が入っていた。軸方向鉄筋は、曲げモーメントが大きく発生する位置の圧縮縁付近で変形（軸方向に対し 100～150mm の間）していたが破断は認められず、フーチングからの抜け出しも認められなかった。帶鉄筋は、重ね部の結束や軸方向鉄筋との結束に異常は認められず、破断も認められなかった。

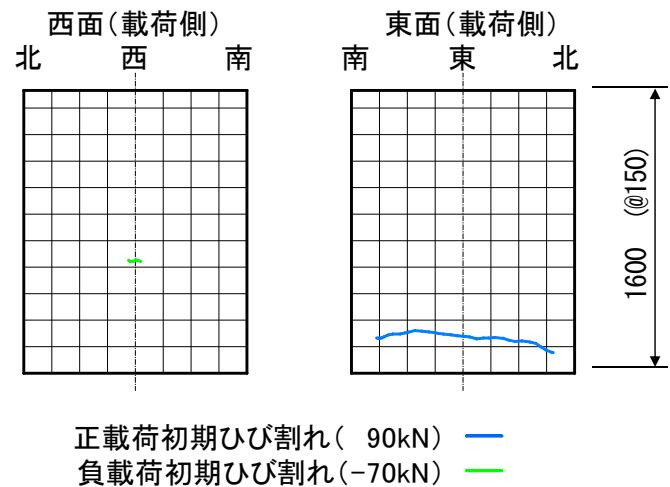


図 3.2.14 ひび割れ図（初期ひび割れ時）

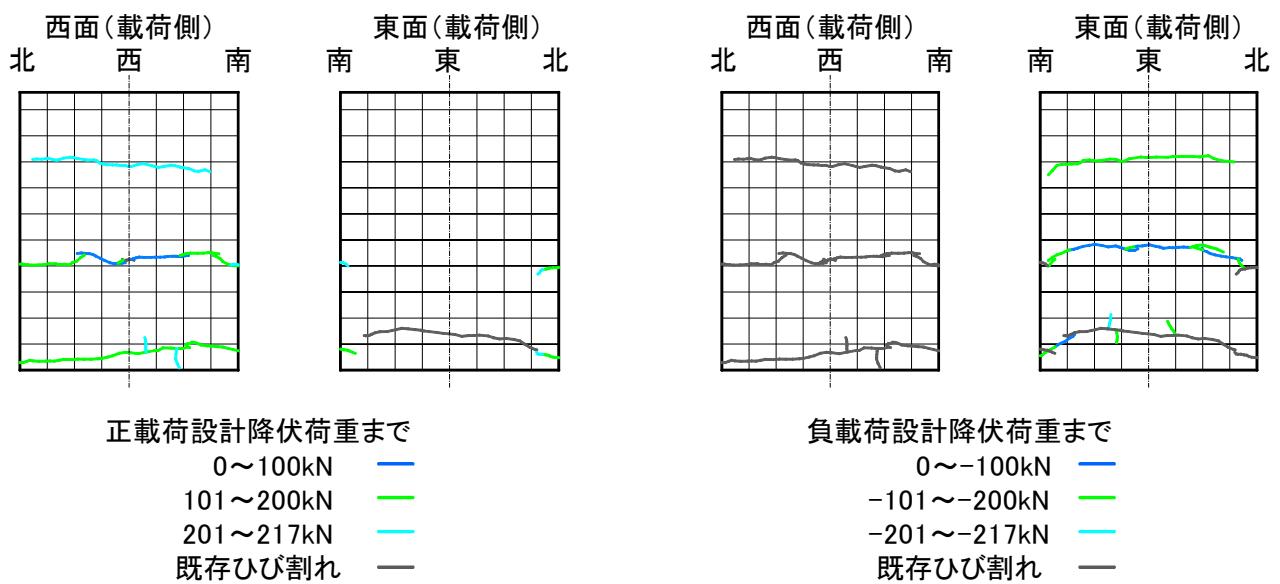


図 3.2.15 ひび割れ図（設計降伏時）

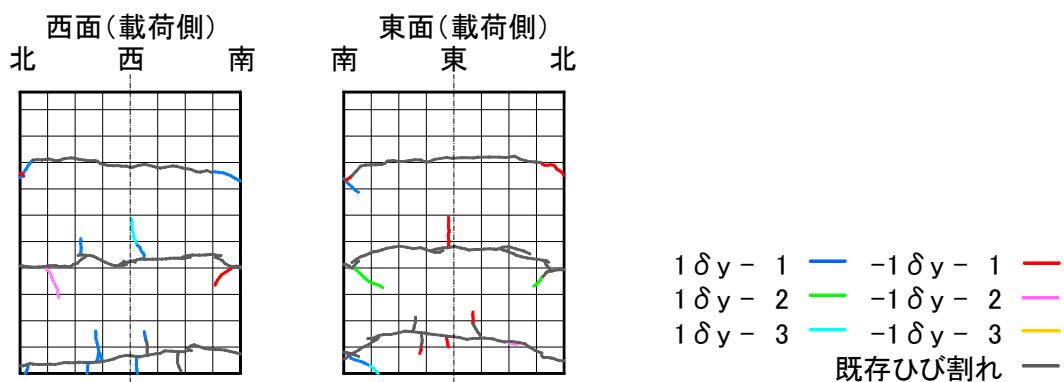


図 3.2.16 ひび割れ図 (1 δ y 終了時)

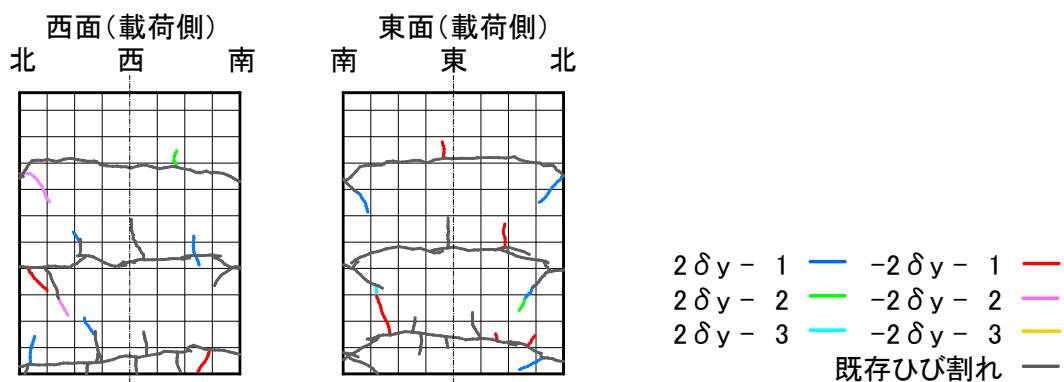


図 3.2.17 ひび割れ図 (2 δ y 終了時)

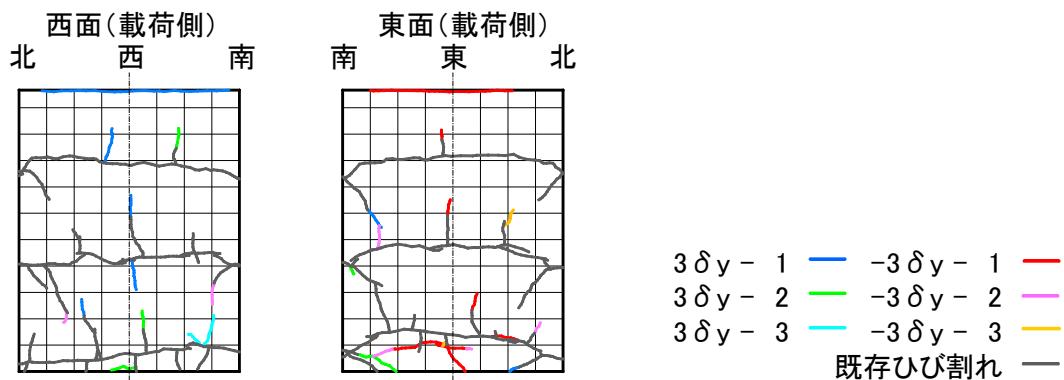


図 3.2.18 ひび割れ図 (3 δ y 終了時)

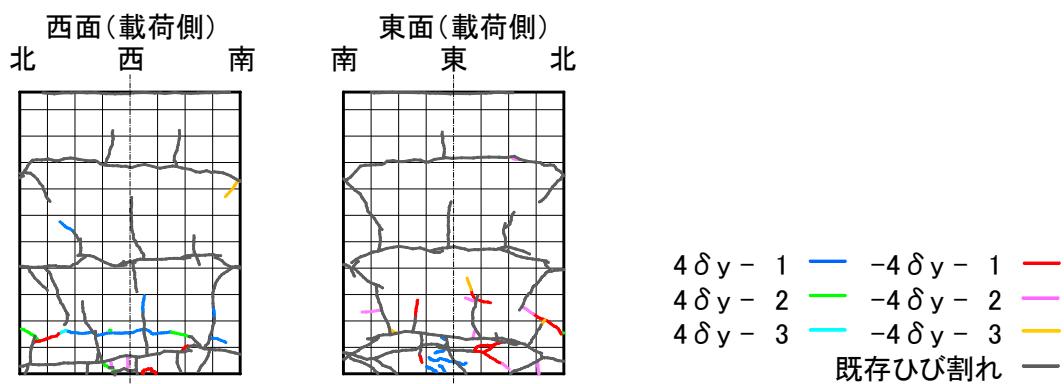


図 3.2.19 ひび割れ図 ($4\delta y$ 終了時)

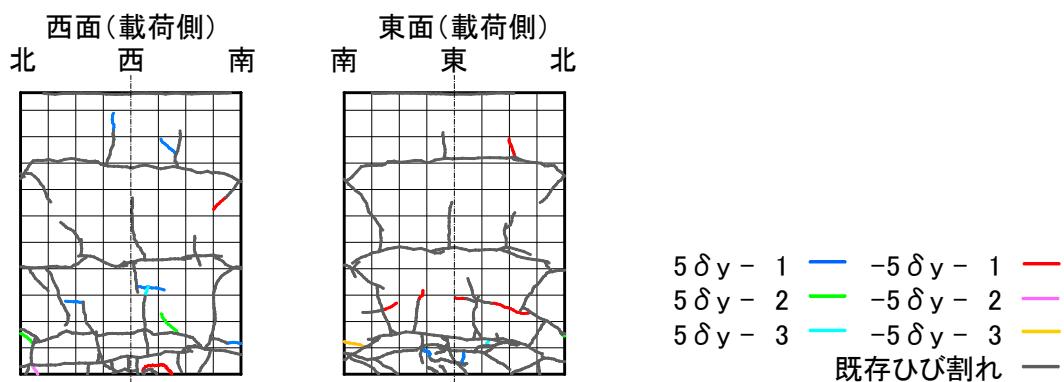


図 3.2.20 ひび割れ図 ($5\delta y$ 終了時)

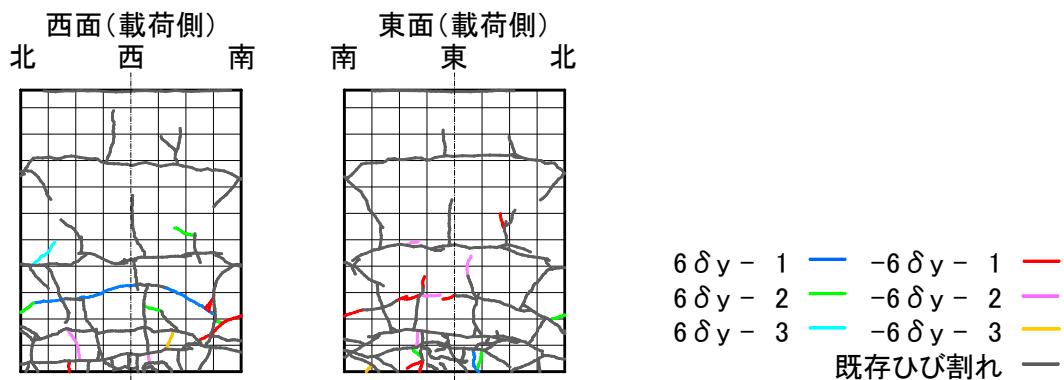


図 3.2.21 ひび割れ図 ($6\delta y$ 終了時)

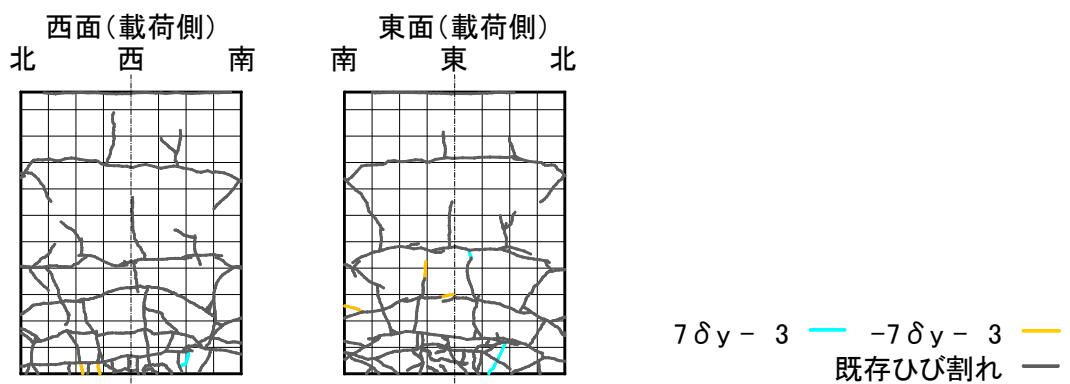


図 3.2.22 ひび割れ図 (7δy 終了時)

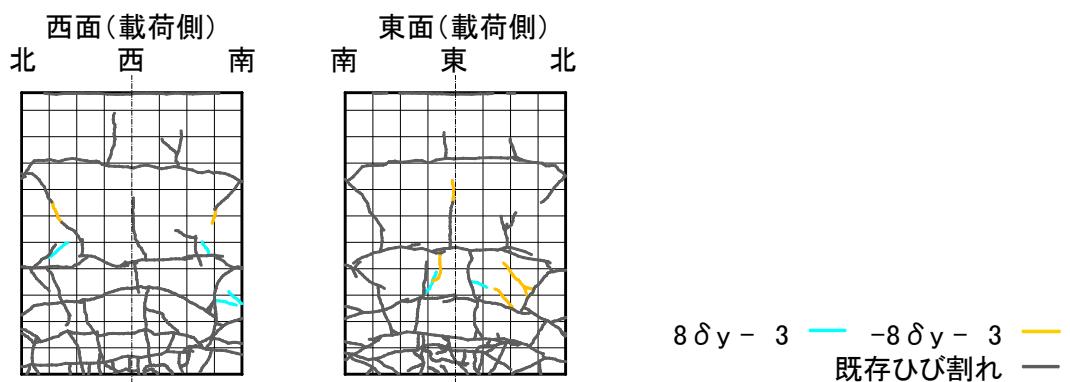


図 3.2.23 ひび割れ図 (8δy 終了時)

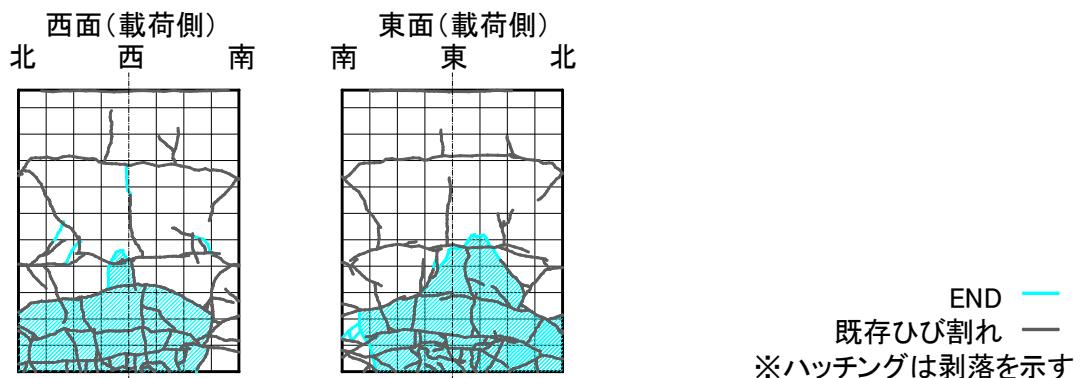
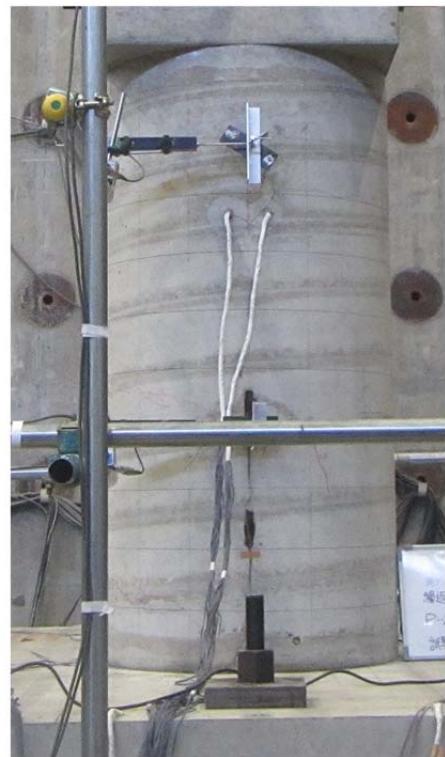


図 3.2.24 ひび割れ図 (載荷終了時)

9δy～11δy は、試験体の損壊・剥落範囲が大きく観察困難なため、ひび割れ図を作成せず、写真の記録とした。

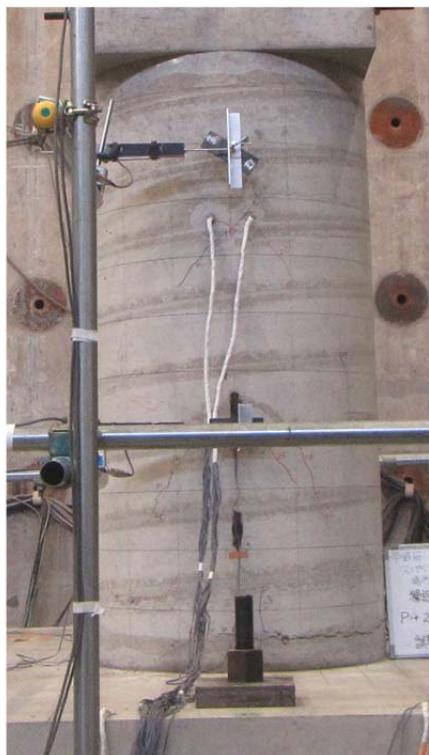


正載荷時(+1 δ -3)



負載荷時(-1 δ -3)

写真 3.2.1 桁体状況(1 δ -3 載荷時)



正載荷時(+2 δ -3)



負載荷時(-2 δ -3)

写真 3.2.2 桁体状況(2 δ -3 載荷時)



正載荷時(+3 δ-3)



負載荷時(-3 δ-3)

写真 3.2.3 桁体状況(3 δ-3 載荷時)



正載荷時(+4 δ-3)



負載荷時(-4 δ-3)

写真 3.2.4 桁体状況(4 δ-3 載荷時)

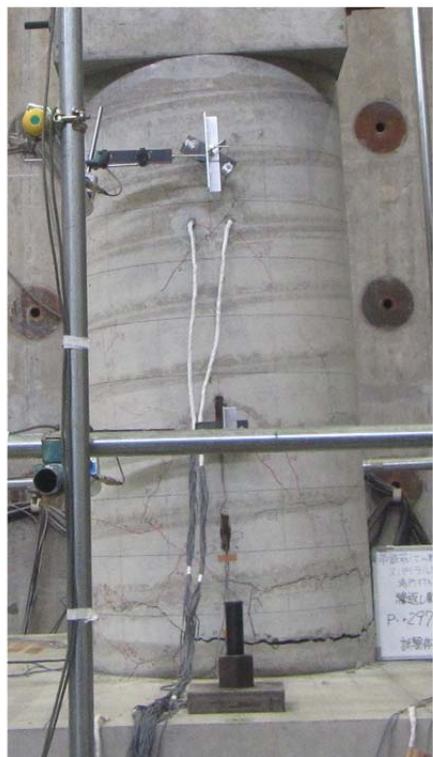


正載荷時(+5 δ-3)



負載荷時(-5 δ-3)

写真 3.2.5 桁体状況(5 δ-3 載荷時)



正載荷時(+6 δ-3)

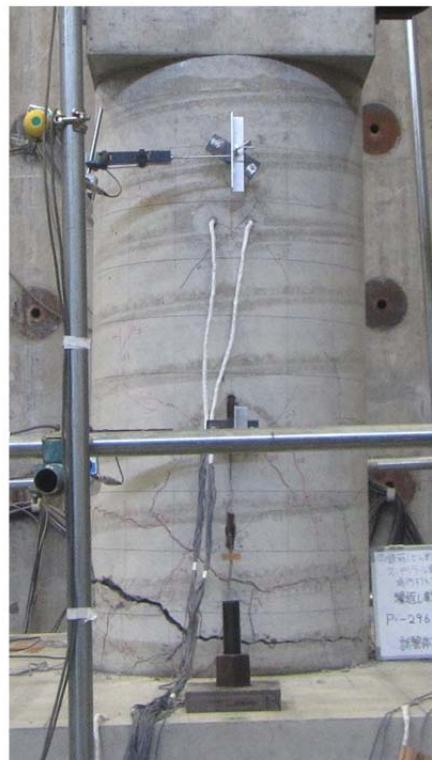


負載荷時(-6 δ-3)

写真 3.2.6 桁体状況(6 δ-3 載荷時)



正載荷時(+7 δ-3)



負載荷時(-7 δ-3)

写真 3.2.7 桁体状況(7 δ-3 載荷時)



正載荷時(+8 δ-3)

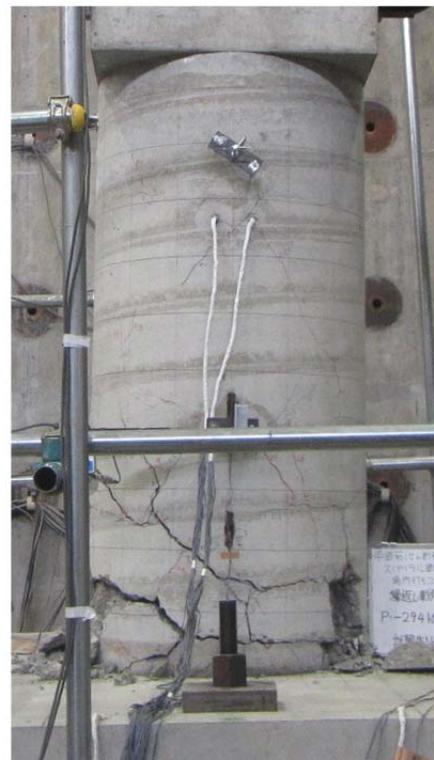


負載荷時(-8 δ-3)

写真 3.2.8 桁体状況(8 δ-3 載荷時)



正載荷時(+9 δ -3)



負載荷時(-9 δ -3)

写真 3.2.9 桁体状況(9 δ -3 載荷時)



正載荷時(+10 δ -3)



負載荷時(-10 δ -3)

写真 3.2.10 桁体状況(10 δ -3 載荷時)



正載荷時(+11δ-3)



負載荷時(-11δ-3)

写真 3.2.11 桧体状況(11δ-3 載荷時)



写真 3.2.12 かぶりコンクリート内部(載荷後)北面



写真 3.2.13 かぶりコンクリート内部(載荷後)東面



写真 3.2.14 かぶりコンクリート内部(載荷後)南面



写真 3.2.15 かぶりコンクリート内部(載荷後)西面

2) No.4 (スパイラル式)

図3.2.25～図3.2.36、写真3.2.16～写真3.2.26に杭体におけるひび割れ発生および損傷の進展状況を示す。

ひび割れ荷重の載荷では、正荷重時に水平方向のひび割れが1本生じ、負荷重載荷時には、水平方向にわずかなひび割れが生じた。設計降伏荷重の載荷では、水平方向に3本のひび割れが生じた。

1δyから3δyの載荷では、水平方向のひび割れが徐々に進行し、1δy載荷時に5本目のひび割れが発生した。また、鉛直方向および斜め方向のひび割れが徐々に発生した。4δyから8δyの載荷では、フーチングの境界面から80cmの間に鉛直方向および斜め方向のひび割れが多数発生した。10δyの載荷では、フーチングの境界面から20cmの範囲、10δyの載荷では70cmの範囲でかぶりコンクリートの剥離が発生した。11δyの載荷では、東西面のかぶりコンクリートの剥落箇所の軸方向鉄筋に座屈が観察された。破壊性状は、曲げ破壊であり、せん断的な挙動は確認されなかった。

No.4の載荷後に脱落したかぶりコンクリートおよび剥離したかぶりコンクリートを除去し、かぶりコンクリート内部を観察した。載荷後の試験体写真を写真3.2.27～写真3.2.30に示す。

鉄筋かご内部のコアコンクリートは、断面中心部まで亀裂が入っていた。軸方向鉄筋は、曲げモーメントが大きく発生する位置の圧縮縁付近で変形（軸方向に対し100～150mmの間）していたが破断は認められず、フーチングからの抜け出しも認められなかった。帯鉄筋（スパイラル鉄筋）は、軸方向鉄筋との結束に異常は認められず、破断も認められなかった。

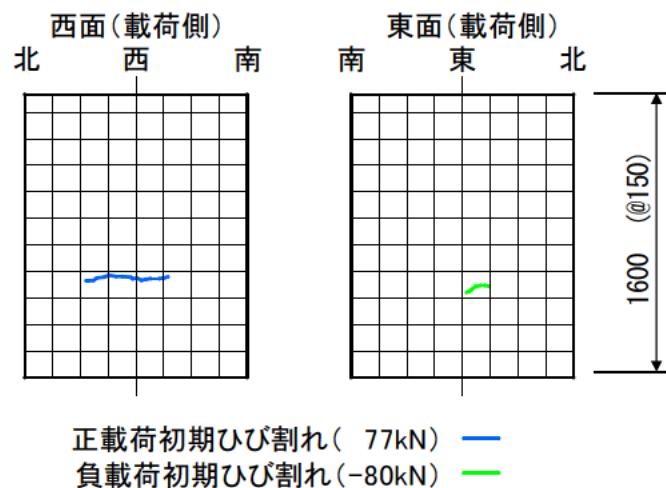


図 3.2.25 ひび割れ図（初期ひび割れ時）

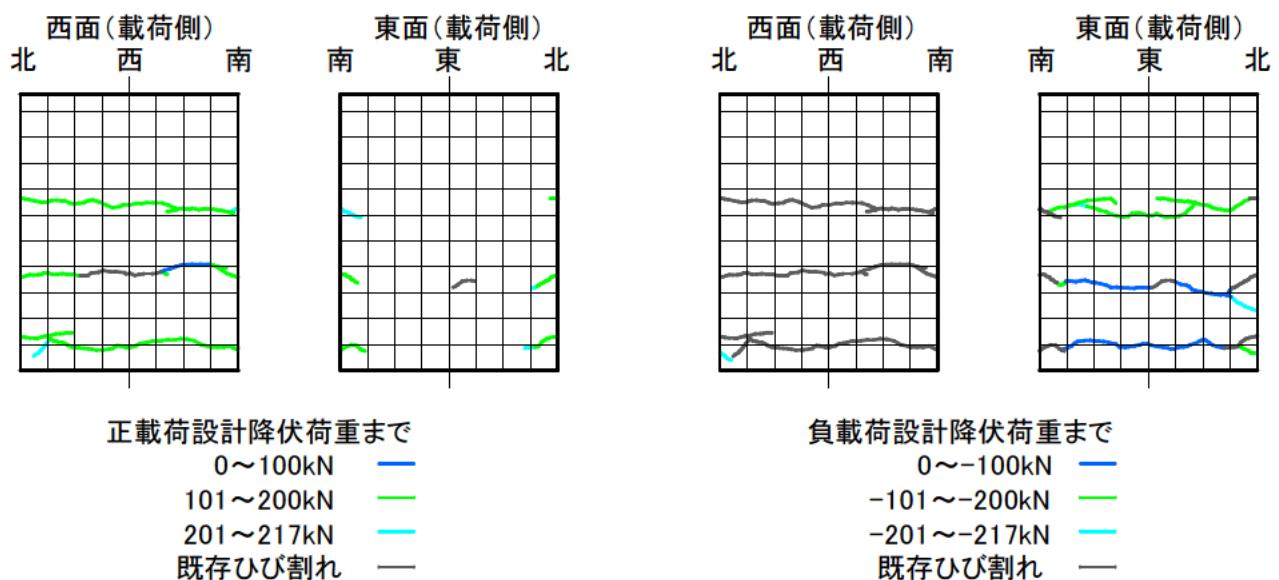


図 3.2.26 ひび割れ図（設計降伏時）

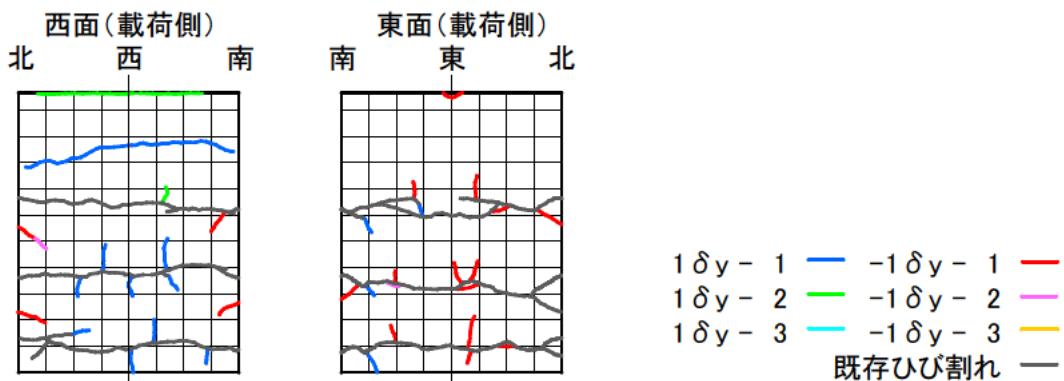


図 3.2.27 ひび割れ図（1 δy 終了時）

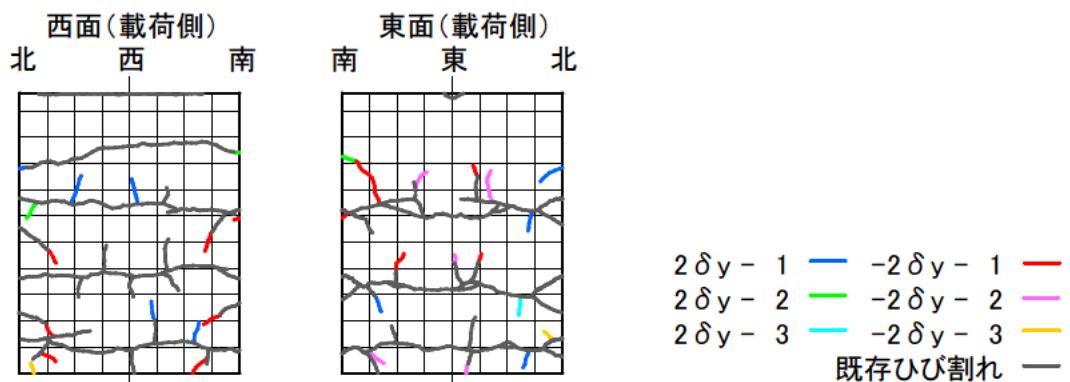


図 3.2.28 ひび割れ図 ($2\delta y$ 終了時)

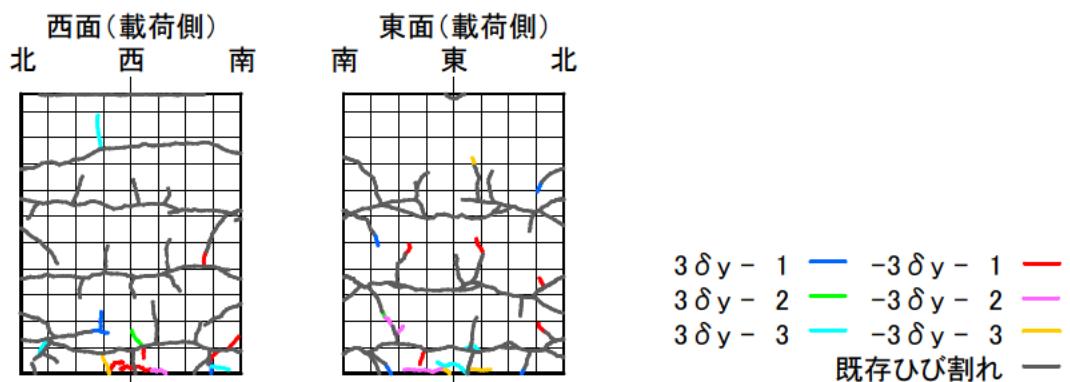


図 3.2.29 ひび割れ図 ($3\delta y$ 終了時)

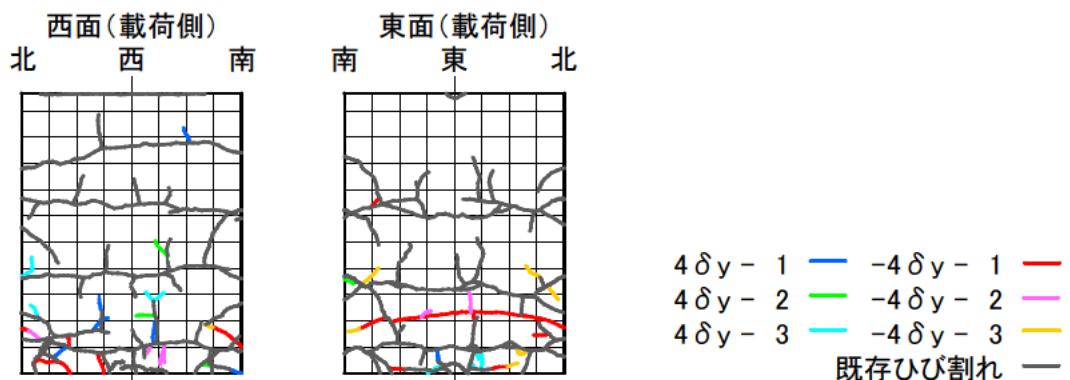


図 3.2.30 ひび割れ図 ($4\delta y$ 終了時)

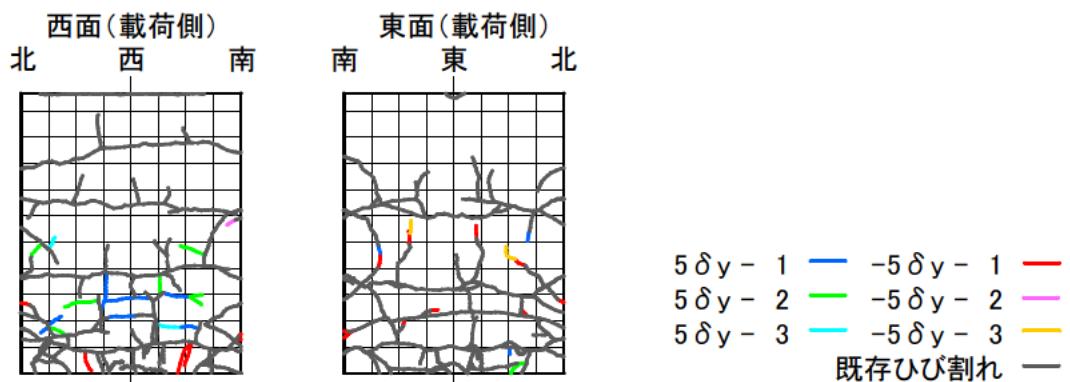


図 3.2.31 ひび割れ図 ($5\delta_y$ 終了時)

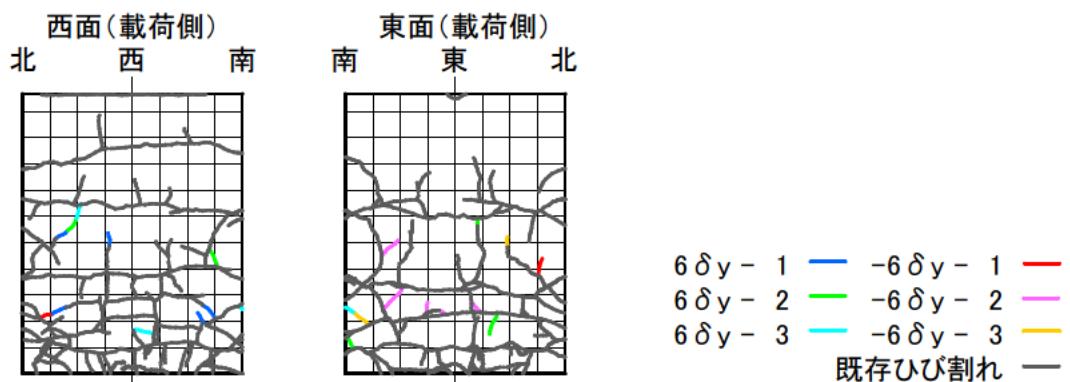


図 3.2.32 ひび割れ図 ($6\delta_y$ 終了時)

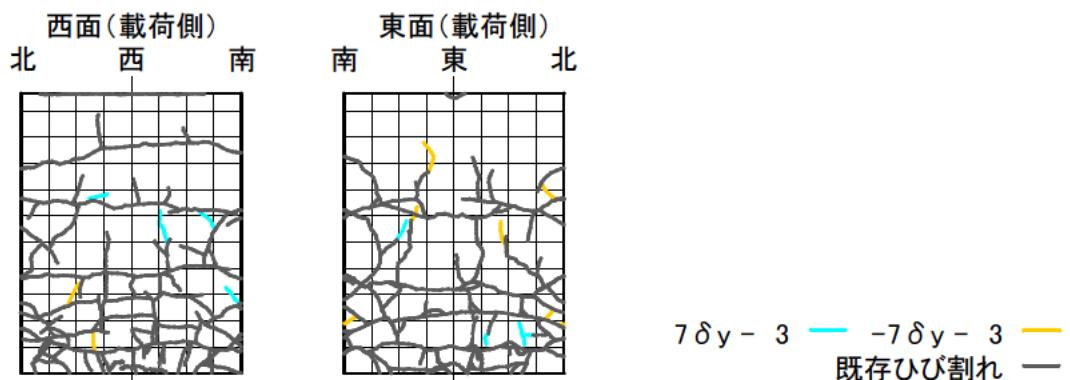


図 3.2.33 ひび割れ図 ($7\delta_y$ 終了時)

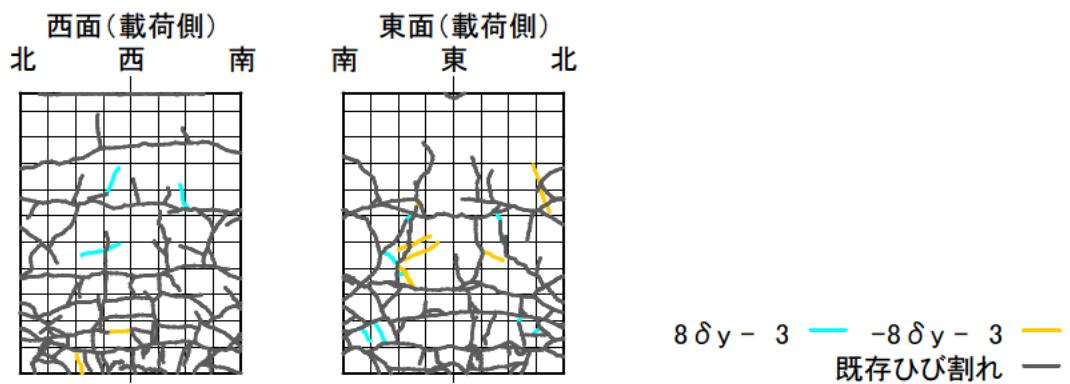


図 3.2.34 ひび割れ図 (8δy 終了時)

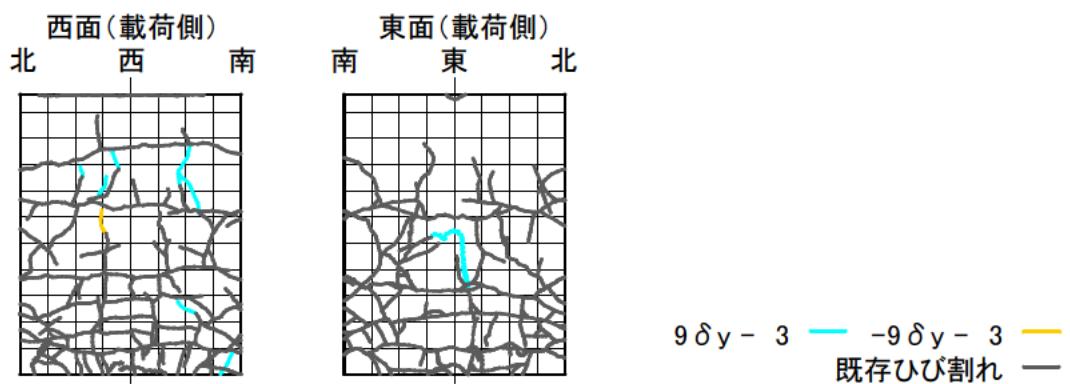


図 3.2.35 ひび割れ図 (9δy 終了時)

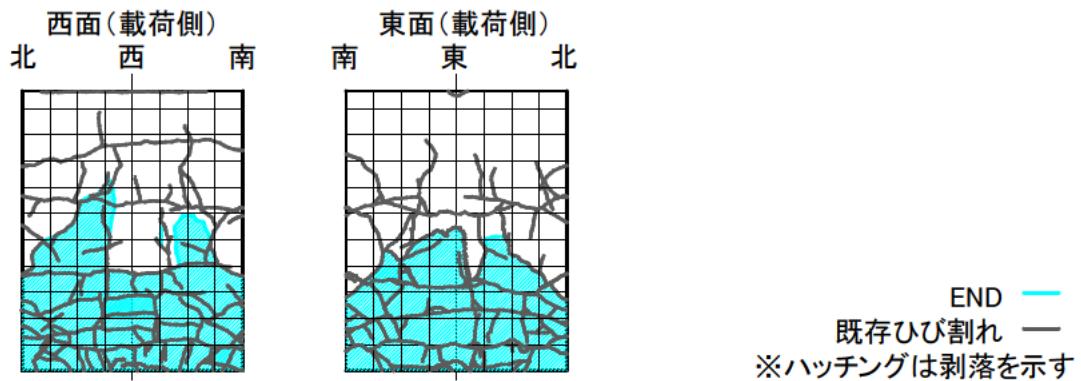


図 3.2.36 クラック図 (載荷終了時)

10δy～11δy は、試験体の損壊・剥落範囲が大きく観察困難なため、ひび割れ図を作成せず、写真の記録とした。

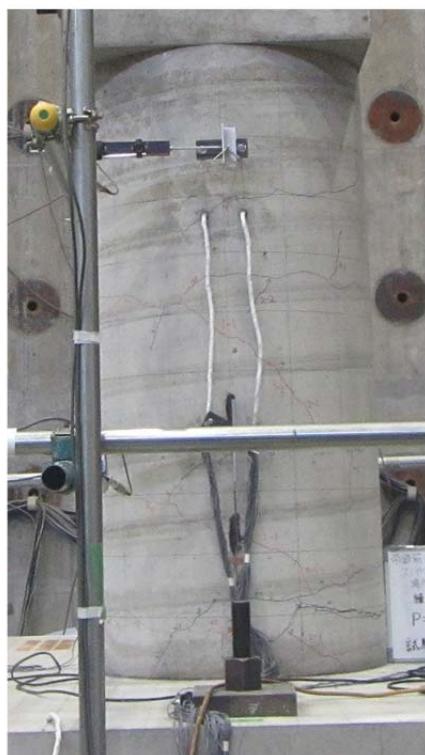


正載荷時(+1 δ -3)



負載荷時(-1 δ -3)

写真 3.2.16 桁体状況(1 δ -3 載荷時)



正載荷時(+2 δ -3)



負載荷時(-2 δ -3)

写真 3.2.17 桁体状況(2 δ -3 載荷時)



正載荷時(+3 δ-3)



負載荷時(-3 δ-3)

写真 3.2.18 桁体状況(3δ-3 載荷時)



正載荷時(+4 δ-3)



負載荷時(-4 δ-3)

写真 3.2.19 桁体状況(4δ-3 載荷時)



正載荷時(+5 δ-3)

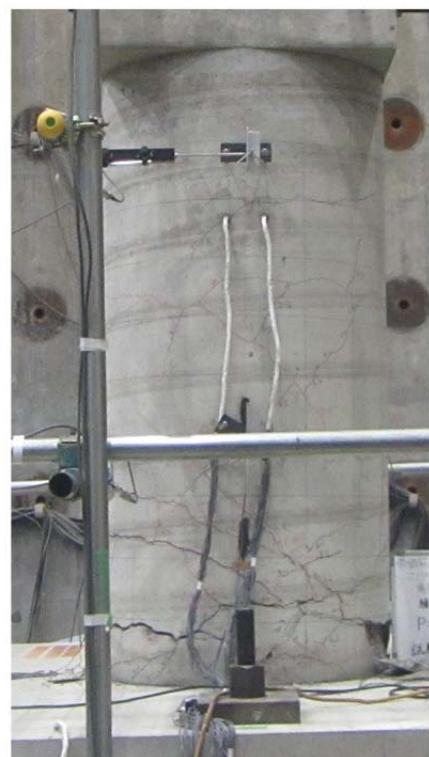


負載荷時(-5 δ-3)

写真 3.2.20 桁体状況(5 δ-3 載荷時)



正載荷時(+6 δ-3)

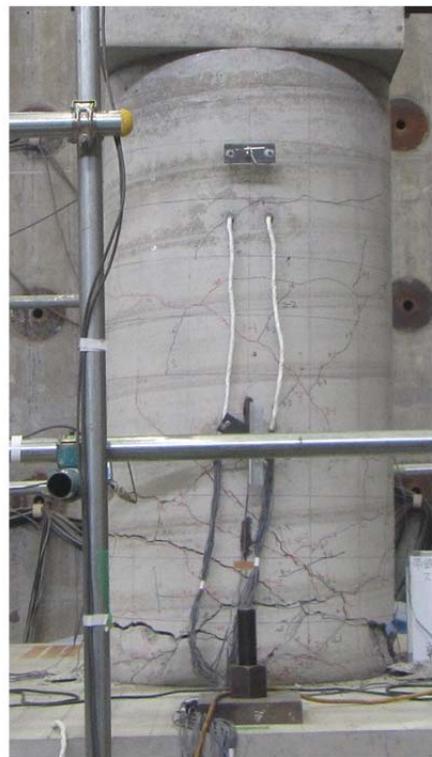


負載荷時(-6 δ-3)

写真 3.2.21 桁体状況(6 δ-3 載荷時)

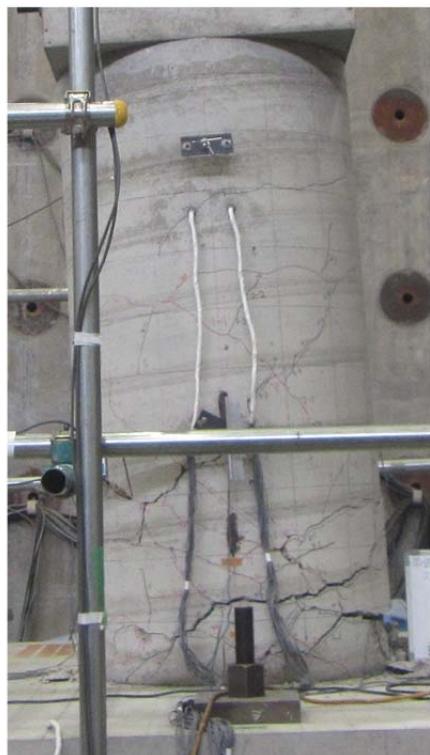


正載荷時(+7 δ-3)

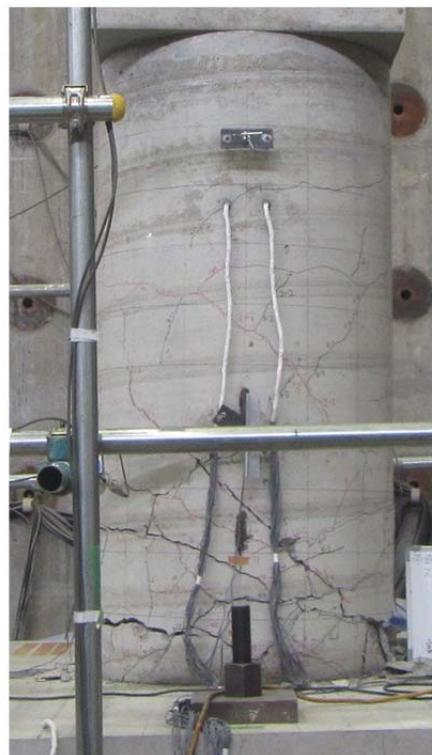


負載荷時(-7 δ-3)

写真 3.2.22 桁体状況(7δ-3 載荷時)

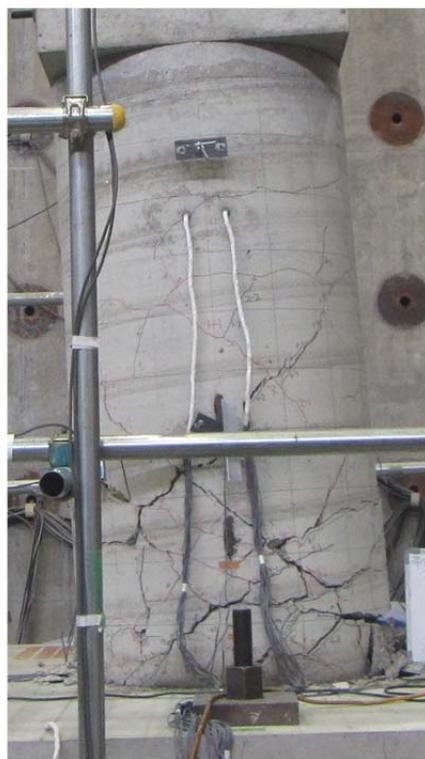


正載荷時(+8 δ-3)



負載荷時(-8 δ-3)

写真 3.2.23 桁体状況(8δ-3 載荷時)



正載荷時(+9 δ-3)



負載荷時(-9 δ-3)

写真 3.2.24 桁体状況(9 δ-3 載荷時)



正載荷時(+10 δ-3)



負載荷時(-10 δ-3)

写真 3.2.25 桁体状況(10 δ-3 載荷時)



正載荷時(+11δ-1)



負載荷時(-11δ-1)

写真 3.2.26 桧体状況(11δ-1 載荷時)



写真 3.2.27 かぶりコンクリート内部(載荷後)北面



写真 3.2.28 かぶりコンクリート内部(載荷後)東面



写真 3.2.29 かぶりコンクリート内部(載荷後)南面



写真 3.2.30 かぶりコンクリート内部(載荷後)西面

3. 2. 8 フック式とスパイラル式の試験結果の比較

(1) 試験結果の比較

試験結果比較表を表 3.2.8 に示す。なお、表中の計算値は表 3.2.5 に示す値を用いた。

表 3.2.8 試験結果比較表

試験体 No.	最大荷重 (kN)	曲げひび割れ曲げモーメント (kN·m)	降伏曲げモーメント (kN·m)	最大曲げモーメント (kN·m)	曲げひび割れモーメント/計算値	降伏曲げモーメント/計算値	最大曲げモーメント/計算値	最大曲げモーメント時荷重段階	載荷終了荷重
3 (フック式)	347.3	181.6	522.6	694.6	1.54	1.10	1.20	3 δ 正側 1 回目	0.6Pmax
4 (スパイラル式)	353.5	154.0	553.2	707.0	1.30	1.16	1.22	2 δ 正側 1 回目	0.6Pmax

(2) 設計降伏荷重時の帶鉄筋ひずみ

- No.3 の設計降伏荷重時の帶鉄筋ひずみは、正荷重時：最大 1391μ 、負荷重時：最大 1495μ であった。実材料強度試験結果から求めた帶鉄筋に作用した応力は、正荷重時： 267.5N/mm^2 、負荷重時： 287.5N/mm^2 であった。
- No.4 の設計降伏荷重時の帶鉄筋ひずみは、正荷重時：最大 1390μ 、負荷重時：最大 1423μ であった。実材料強度試験結果から求めた帶鉄筋に作用した応力は、正荷重時： 258.0N/mm^2 、負荷重時： 264.1N/mm^2 であった。

(3) 実測値と計算値との比較

- No.3 のひび割れ曲げモーメントの実測値/計算値は、正側：1.54、負側 1.46 であった。
- No.3 の降伏曲げモーメントの実測値/計算値は、正側：1.10、負側 1.17 であった。
- No.3 の最大曲げモーメントの実測値/計算値は、正側：1.20、負側 1.12 であった。
- No.4 のひび割れ曲げモーメントの実測値/計算値は、正側：1.30、負側 1.52 であった。
- No.4 の降伏曲げモーメントの実測値/計算値は、正側：1.16、負側 1.19 であった。
- No.4 の最大曲げモーメントの実測値/計算値は、正側：1.22、負側 1.15 であった。

(4) 荷重一変位関係

図 3.2.37 に No.3 および No.4 の荷重一変位関係を示す。図 3.2.38 に No.3、図 3.2.39 に No.4 の荷重一変位の関係をそれぞれ示し、図中に実材料強度による計算値をプロットした。なお、実材料強度による計算値は、道路橋示方書・同解説V耐震設計編（平成 29 年版）によるコンクリートの

終局ひずみを採用し、(一社)コンクリートパイル建設技術協会の計算ソフト(2012版)によるモーメント-曲率($M-\phi$)の計算値を、下式にて変位を換算した。

$$\text{降伏時変位} : \delta_y = \frac{M_y \cdot l^2}{3E I} \quad \text{終局時変位} : \delta_u = \frac{\phi_y \cdot l^2}{3} + (\phi_u - \phi_y) \cdot D \cdot \left(l - \frac{D}{2}\right)$$

(最大荷重時変位)

ここに、

ϕ_y : 降伏時曲率 ϕ_u : 終局時曲率(最大荷重時曲率) M_y : 杭の降伏点応力度

l : 載荷点距離 D : 杭径 E : 杭のヤング係数 I : 杭の換算断面二次モーメント

図3.2.37より、No.3とNo.4の荷重-変位関係は同等であった。なお、 δ_y の値で比較すると、降伏荷重時の変位の大きさが違うことにより、差が生じた。

荷重-変位関係より、各載荷重段階での最大荷重を結んだ線の勾配は98y時にその勾配の変化が確認された。

- ・No.3は、18y時の変位は、8.20mmであった。また、98y時の最大荷重は、292.5kNでありPmax(347.3kN)の84%であった。
- ・No.4は、18y時の変位は、9.70mmであった。また、98y時の最大荷重は、307.0kNでありPmax(353.5kN)の87%であった。
- ・図3.2.38、図3.2.39に示すとおり、それぞれの実験値は実材料強度により計算した荷重-変位関係に近似することが確認された。

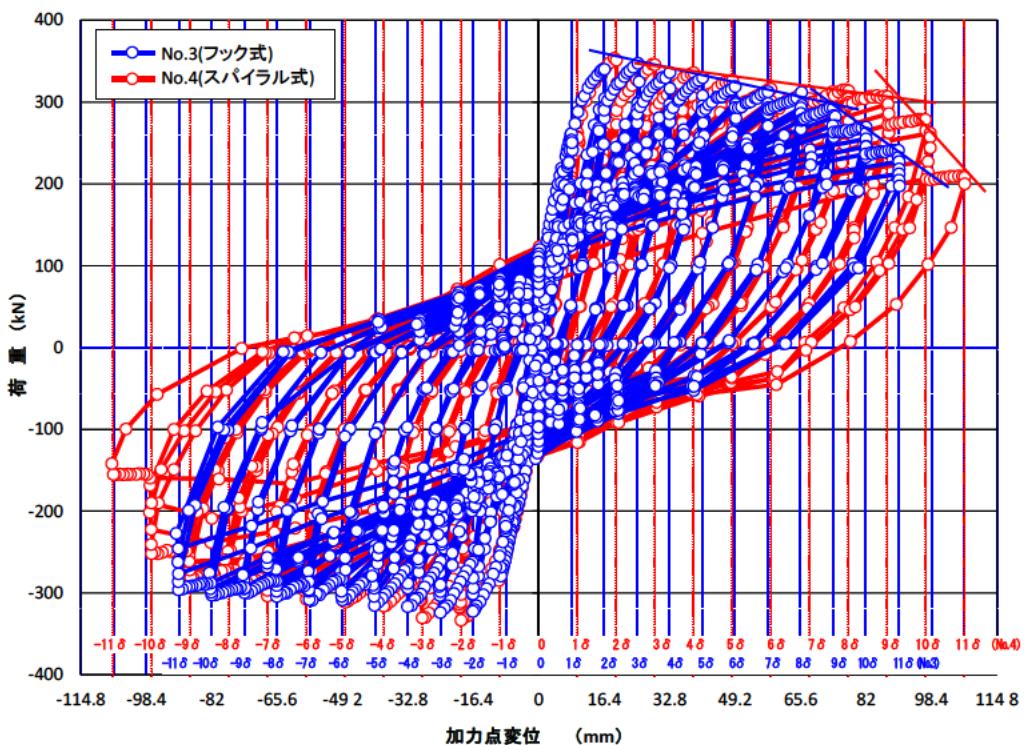


図3.2.37 荷重-変位関係

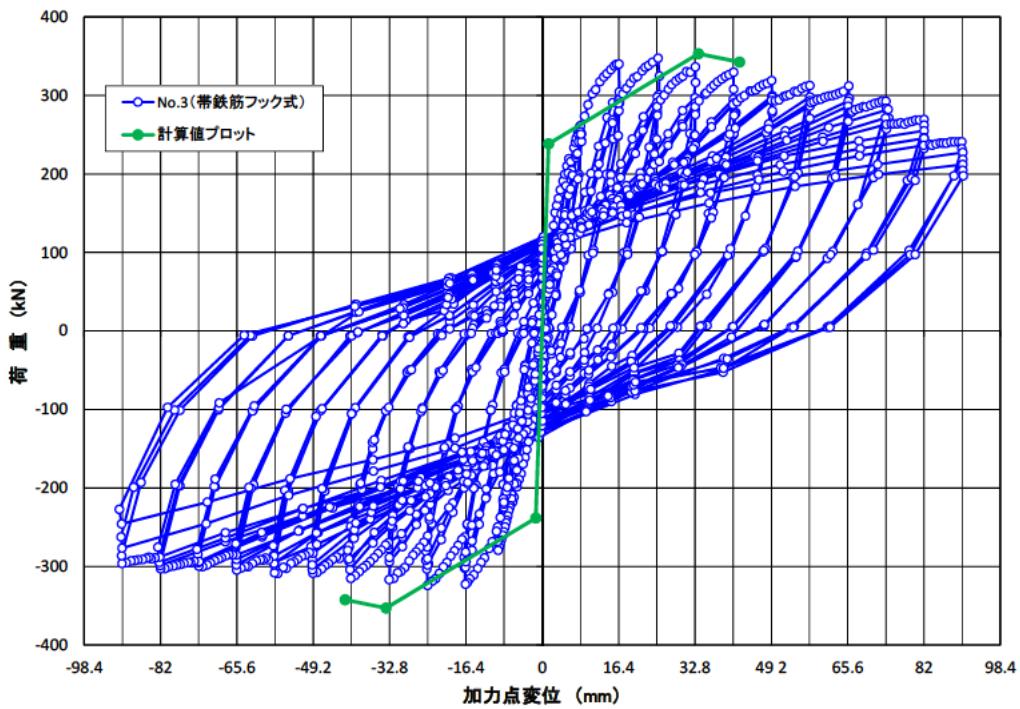


図 3.2.38 No.3 (フック式) 荷重一変位関係

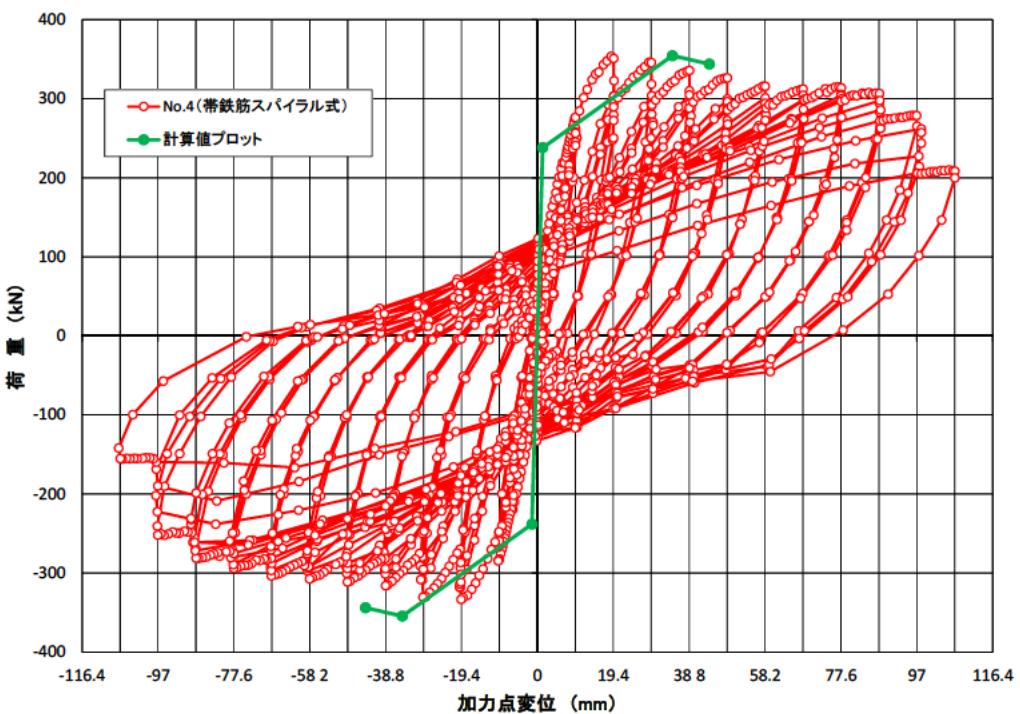


図 3.2.39 No.4 (スパイラル式) 荷重一変位関係

(5) 杭頭部鉛直変位と加力点水平変位の関係

No.3 および No.4 の杭頭部鉛直変位と加力点水平変位の関係を図 3.2.40、図 3.2.41 にそれぞれ示し、変位性状の確認を行った。

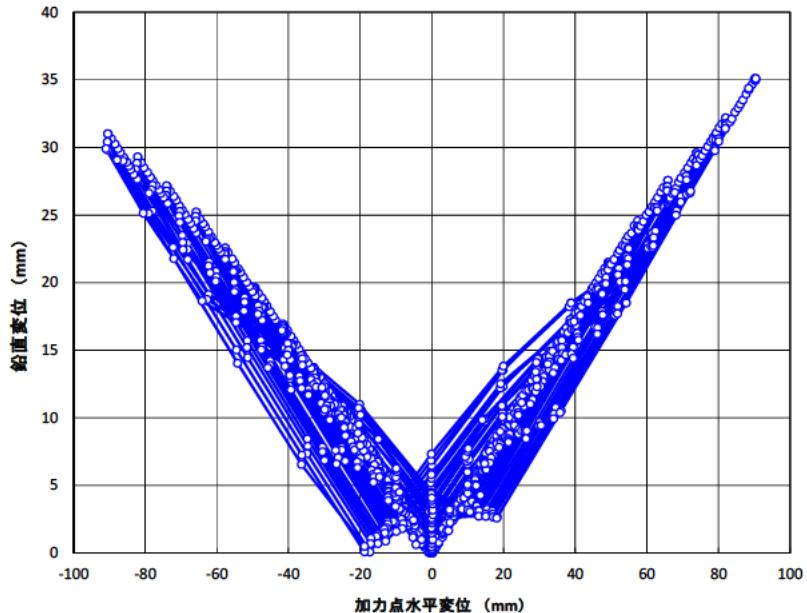


図 3.2.40 No.3 (フック式) 杭頭部鉛直変位ー加力点水平変位関係

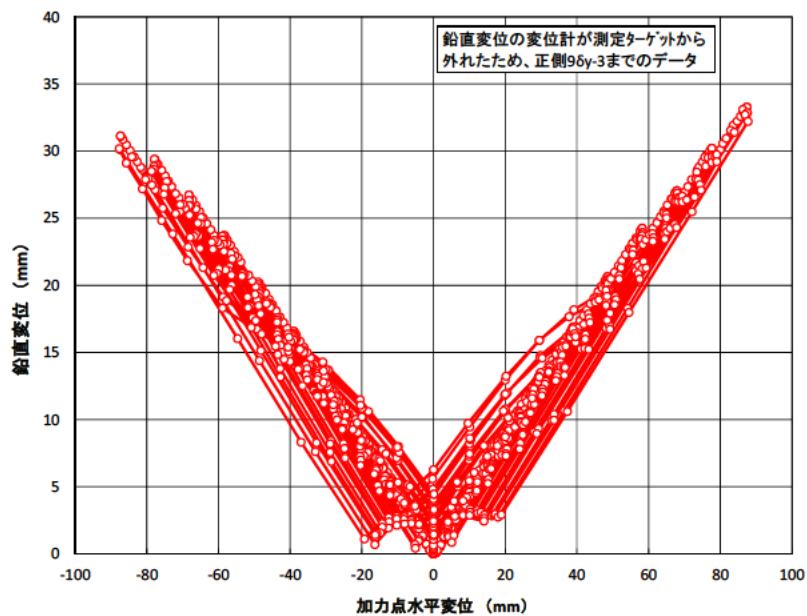


図 3.2.41 No.4 (スパイラル式) 杭頭部鉛直変位ー加力点水平変位関係

- ・No.3 および No.4 いづれも、すべての載荷重段階で試験体は抜岡方向に変位した。また、変位勾配は No.3 および No.4 ともにほぼ対称となっており、いづれの試験体ともに正負方向に対し同様に曲げ変形していた。

3. 2. 9 試験結果の考察

- ・ 本試験による実測値と設計値および計算値との比較では、ひび割れ、降伏、最大値ともに大きな差は認められなかった。
- ・ 実測降伏荷重時の変位（18y）は、No.3 は 8.20mm、No.4 は 9.70mm と 18% の差が生じていた。No.3 の試験体に発生した 3 本の曲げひび割れのうち、1 本が初期の段階から大きくなり、2 本目 3 本目の曲げひび割れ進展が抑制されたため、軸方向鉄筋に作用する引張力が局部的に発生していた可能性がある。一方、No.4 の試験体に発生した曲げひび割れは、初期段階から 3 本の曲げひび割れがほぼ均等に進展したため、軸方向鉄筋に作用する引張力が均一になっていたと思われる。こうした両者の曲げひび割れ発生から降伏に至るまでの曲げひび割れ進展の相違から、変位量の差が生じたものと考えられる。
- ・ 荷重一変位関係から、No.3 に対し No.4 は、78y から 88y にかけて載荷荷重が低下せず、横ばいとなっている。この要因は、どちらの供試体も同強度のコンクリートであることから、かぶりコンクリートに発生した曲げひび割れの進行と、剥離状況に起因しているものと推察される。No.4 は、かぶりコンクリートが曲げひび割れにより軸方向鉄筋から剥離後にもコンクリート同士がかみ合い剥落を免れたため、圧縮側になったときに抵抗力として作用したことが考えられる。
- ・ 上記より、帶鉄筋の違い（フック式・スパイラル式）による曲げ耐力および変形能の傾向の差は、認められなかった。

・ 帯鉄筋仕様の相違による差異

帯鉄筋の仕様の相違による正負交番曲げ載荷試験時の挙動を観察した結果、上述した結果のとおり、変形能や曲げひび割れの状況について、No.3 と No.4 で同様の挙動を示していた。また、曲げ耐力も同等な数値を示しており、帯鉄筋はフック式、スパイラル式の仕様の相違による差異がないことが確認された。

4. まとめ

本報告書では、場所打ち杭の帶鉄筋においてフック式（フックを設けて定着させた杭）とスパイラル式（スパイラル鉄筋を用いた杭）でのせん断載荷試験及び正負交番曲げ載荷試験を行い、スパイラル式においてもフック式と同様な機能を発揮するとともに同等の耐力やせん断補強効果、変形能が得られているのかを確認した。本報告書で述べた主な結果を以下に示す。

① せん断載荷試験

- ・フック式、スパイラル式でのせん断載荷試験による帶鉄筋の挙動を観察した結果、斜めひび割れ発生前、斜めひび割れ発生後、最大荷重時においても、同様な挙動を示していた。このことから、同等のせん断補強効果を有することが確認された。
- ・フック式、スパイラル式でのせん断耐力も同等な数値を示しており、同等の性能を有することが確認された。

② 正負交番曲げ載荷試験

- ・フック式、スパイラル式での正負交番曲げ載荷試験による帶鉄筋の挙動および荷重一変位を観察した結果、曲げひび割れ発生時、降伏時、最大荷重時においても、同様な挙動を示していた。このことから、同等の変形能を有することが確認された。
- ・フック式、スパイラル式での曲げひび割れ発生時、降伏時、最大荷重時の曲げ耐力も同等な数値を示しており、同等の性能を有することが確認された。

付 錄

土木学会コンクリート標準示方書 棒部材の設計せん断耐力式²⁾

V_{yd} : 設計せん断耐力

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

V_{cd} : せん断補強鋼材を用いない棒部材の設計せん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot f'_{cd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_c$$

$$f'_{cd} = 0.20 \sqrt[3]{f'_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1000/d}$$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_t}$$

b_w : 部材断面幅(mm)

d : 有効高さ(圧縮縁距離)(mm)

p_t : 軸方向鉄筋比

$$p_t = 0.5 A_w / (b_w \cdot d)$$

A_w : 区間 S_s におけるせん断補強筋の総断面積(mm²)

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 [30N/mm²]

γ_c : 部材安全係数[一般に 1.3 としてよい。規格値以外は、1.0 とする。]

V_{sd} : せん断補強筋負担分の設計せん断耐力

$$V_{sd} = \frac{A_w \cdot f_{wyd} \cdot z (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s)}{S_s} / \gamma_s$$

f_{wyd} : せん断補強鉄筋の設計降伏強度 [400N/mm²]

α_s : せん断補強鉄筋が部材となす角度

S_s : せん断補強鉄筋の配置間隔(mm)

z : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で、一般に $d/1.15$ としてよい。

γ_s : 部材安全係数[一般に 1.1 としてよい。規格値以外は、1.0 とする。]

修正荒川式 3)

1) min 式

$$Q_{su} = \left(\frac{0.092 k_u k_p (Fc + 17.7)}{\frac{M}{Q_s D}} + 0.846 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} + 0.1 \alpha_0 \right) b \cdot j$$

$$\frac{M}{Q_s D} + 0.115$$

2) mean 式

$$Q_{su} = \left(\frac{0.115 k_u k_p (Fc + 17.7)}{\frac{M}{Q_s D}} + 0.846 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} + 0.1 \alpha_0 \right) b \cdot j$$

$$\frac{M}{Q_s D} + 0.115$$

Q_{su} : 終局せん断耐力

k_u : $Q_s D$ による補正係数

k_p : 補正係数 ($= 0.82 p_t^{0.23}$)

p_t : 引張鉄筋比

Fc : コンクリート圧縮強度

$M/Q_s D$: せん断スパン比

p_w : せん断補強筋比

σ_{wy} : せん断補強筋の降伏点

α_0 : 平均軸方向応力度 ($= 4N/\pi D^2$)

b : 正方形置換断面の幅 ($= 0.89D$)

j : $0.875D$

N : 軸力

D : 杭径

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会 : 道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 2012.3
- 2) (公社) 土木学会 : コンクリート標準示方書 設計編 2012 年度制定, pp180, 2013.3.
- 3) (社) 日本建築学会 : 建築耐震設計における保有耐力と変形性能, pp140, 1990.10.
- 4) 大塚久哲、星隈順一、長屋和宏、村井和彦 : 場所打ち杭の正負交番載荷試験, 土木研究所資料 第 3462 号, 1996.11.

表参 1.3 鉄筋の材料試験結果

試験種別	鉄筋仕様	降伏強度 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	ヤング率 (N/mm ²)
せん断	軸方向鉄筋:SD490 D38	544.4	707.4	195,200
	帶鉄筋(フック式):SD345 D13	377.8	568.2	188,500
	帶鉄筋(スパイラル式):SD345 D13	394.5	562.4	185,600
正負交番 曲げ	軸方向鉄筋:SD345 D22	372.6	555.8	189,500
	帶鉄筋(フック式):SD345 D13	363.9	526.9	192,300
	帶鉄筋(スパイラル式):SD345 D13	394.5	562.4	185,600

表中の諸数値は、供試体 3 体の平均値

1. 3 使用材料試験成績表

せん断載荷試験および正負交番曲げ載荷試験に使用した鋼材の試験成績表を以下に添付する。

1) せん断載荷試験 軸方向鉄筋 D38 SD490

INSPECTION CERTIFICATE 鋼材検査証明書												
Contract No. 仕立番号:		506216A896		Supplier 生 産 者 :		会津産業株式会社		Customer 購 え 者 :		SD490		
Order's No. 注文番号:				Commodity 品 名 :		異形棒鋼 規 格 :		JIS G 3112				
Supplier 販 売 者 :				Specification 規 格 :								
Destination 届 け 先 :				Shipment 輸 送 方 :								
S i z e 寸 法	Length 長 広	Quantity 數 量	Mass 質 量 kg	Charge No. 鋼 番	Tensile Test 引張試験		Y.S. 引張強さ Y.P.降伏強さ		R.E.伸び R.A.延性		Bending Test 曲げ試験	
					27	1,450	6538185	25	23	135	20	26
合計					27	1,450						
S i z e 寸 法	Charge No. 鋼 番											
D 38	6538185	490 - 625	N/mm ² Mn.	490	620	N/mm ² Mn.	%	30	90	6000		
D 38	540	540	N/mm ² Mn.	540	653	N/mm ² Mn.	%	20	90			
Chemical Composition 化学成分 (%)												
C	Max.	Si	Max.	Mn	P	Max.	S	Cr	V	Max.	CE Max.	
0.25	32	0.10	55	0.02	0.03	Max.	0.03	0.03	0.02	0.01	0.05	
Test Result 検査結果												
Sign 記入欄 （右）												
Surveyor to 上記注文は指定の規格たる仕様に従つて製造され、その要求事項を満足していることを証明します。												
We hereby certify that the material described herein has been made in accordance with the rules of the contract. 上記注文は指定の規格たる仕様に従つて製造され、その要求事項を満足していることを証明します。												
Signature 品質管理グループ Leader Quality Control TEL. 047-350-1355 FAX 047-350-1350 〒279-0025 千葉県浦安市舞浜通り2-6-3 安田金属株式会社 G00300PR00200												

2) せん断載荷試験 帯鉄筋（フック式）D13 SD345

MILL SURVEY SHEET 鋼材検査証明書										
Sheet No. 納品番号 No. 16-07-101		Due Date 到期日 16-07-26		Purchaser 購買者 建設会社 - 建設株式会社		Supplier 供應者 建設会社		Contract No. 契約番号 1-6-07-HK-006		
Customer 得意先 090 友和興業(株) 大阪本店		Construction 工事名 在庫用						Delivery No. 得管No. 090-07-009		
Agency 経由先 091 友和興業(株) 九州支店								Specification 規格 JIS G 3112		
Agency 特約店										
Agency 特約店										
Dimensions 尺寸										
品名	長さ(m)	Quantity 量数(P)	Mass 重量(kg)	Charge No. 鋼種番号	Chemical Composition 成分(%)	Tensile Test 引張試験				
				C ×100	P ×100	S ×100	Nb ×1000	Cr ×1000	Bend Test 曲げ試験	
SD345 D13	8.00m 計 中 大	200	2588 2388 2388	26621	2.2	1.6	BB	25 29 37	387 560 560	24 24 24
Chemical Composition 成分(%)										
SD345 D13										
We hereby certify that material herein has been made and tested in accordance with the above specification and also with the requirements called for the above order.										
OIE Leader of Quality Control Group										

- 3)せん断載荷試験・正負交番載荷曲げ試験 帯鉄筋(スパイアル式) D13 SD345

INSPECTION CERTIFICATE 鋼材検査証明書											
GODO STEEL, LTD. OSAKA WORKS 合同製鐵株式会社 大阪製造所 1-1-2, NISHIJIMA, NISHIYODOGAWA-KU, OSAKA, JAPAN 大阪市西淀川区西島1丁目1番2号											
Contract No.: 5060465973		Order's No.: 5060465973		Supplier: 合金産業株式会社		Commodity: 品名: 異形棒鋼 (ハニンコイル)		Specification: 規格: JIS G 3112 SD345		Customer: 需要者: 昭和産業株式会社	
Shipment: 製品名:		Quantity: 量: 5		Mass: 質量: kg 9.992		Charge No.: 鋼番: 592321		Chemical Composition: 化学成分(%)			
Sizing Method: 尺寸法		Length: 長さ: 5		Mass: 量: 9.992		C: X100 Max. 27		Si: X100 Max. 55		Mn: X100 Max. 40	
D13						P: X1000 Max. 40		S: X1000 Max. 50		V: X1000 Max. 50	
合計											
Sizing Method: 尺寸法		Charge No.: 鋼番: 592321		Tensile Test 引張試験 (Sl=BD)		Bend Test 弯曲試験		Hardness Test 硬度試験		Impact Test 断面衝撃試験	
D13				Y _P 屈服強さ: 345 N/mm ² E: 引張強さ: 440 N/mm ² M: Mn: 18%		R: 伸び: % 571		Angle: 1.5D 180°		K: 600D	
工事名: 製品名: スパイアルフープ 鋼種: SD345 納入日: 平成28年11月30日		上記工事に納入した製品に、本ミルシートに記載されたことを証明いたします。 鋼番: 592321								CE: 345N/mm ²	
  											
  											
WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL DESCRIBED HEREIN HAS BEEN MADE IN ACCORDANCE WITH THE RULES OF THE CONTRACT. 上記文書は御指定の規格または仕様に従つて製造され、その要求事項を満足していることを証明します。											

4) 正負交番曲げ載荷試験 軸方向鉄筋 D22 SD345

INSPECTION CERTIFICATE									
鋼材検査証明書									
GODO STEEL, LTD. FUNABASHI WORKS 2-2-1 MINAMIKAIJU FUNABASHI-CITY, CHIGA, JAPAN 金田金属(株) 合資産業株式会社 品名: 異形棒鋼 规格: JIS G 3112 品番: SD345 要求: 標準規格 工事名称: 倉入丸									
Order No.: 50611663877 Contract No.: Supplier: 合資産業株式会社 Commodity: 異形棒鋼 Specification: JIS G 3112 Consigner: 株式会社 Carrier: 株式会社 Destination: 倉入丸 Ship No.:									
Certificate No. 証明書番号 : 202017021605 Date 発行日 : 2017/02/10 处理コード : 0210 43408									
Size 寸法	Length 長さ	Quantity 数量	Mass 質量	Charge No. 番号	Chemical Composition				CE C:Mn/S Max. 0.40 Max. 0.50
					C X100 Max.	Si X100 Max.	Mn X100 Max.	P X100 Max.	
D 22	500m	20	1,772	T.B178	2.1	18	94	2.7	3.0
D 22	1,000m	20	1,664	T.B177	2.1	18	95	2.8	2.5
D 22	1,500m	20	1,544	T.B160	2.1	18	90	2.8	3.0
D 22	2,000m	20	1,524	T.B170	2.1	19	94	3.0	4.0
D 22	2,500m	20	1,524	T.B171	2.1	18	93	2.8	2.5
D 22	3,000m	20	1,556	T.B176	2.1	16	94	2.7	4.1
合計		720	10,584						
Size 寸法	Charge No. 番号	Tensile test 引張試験 (L=6D)	Y.P.屈伏強さ N/mm ² Min. - 40	E.L.伸び %	R.A.延性 %	Bend Test 弯曲試験		Impact Test 衝撃試験	CE C:Mn/S Max. 0.40 Max. 0.50
						R	Angle °		
D 22	718178	391	567	21	60.0				
D 22	718177	383	564	20	60.0				
D 22	718160	401	565	22	60.0				
D 22	718170	397	566	22	60.0				
D 22	718171	390	562	20	60.0				
D 22	718176	383	571	20	60.0				

5) 正負交番曲げ載荷試験 帯鉄筋 (フック式) D13 SD345

MILL CERTIFICATE 証明書												
Sheet No. 納品書 No.		Date 発行日 16-11-21		Purchaser 需要家 コーリョ一開発株式会社九州工場		Construction 工事名 工事名		Contract No. 契約No. Car. No.		043-16-10-01-023 得管No.		
Customer 得意先 特約店								1-6-10-01-023		043-16-10-01-023		
Agency 特約店								車番		8424c		
										Specification 規格 JIS G3112		
Dimensions												
品名	長さ (m)	Quantity	Mass	Charge No.	Chemical Composition				Tensile Test			
		員数 (P)	重量 (kg)	製鋼番号	C × 100	Si × 100	Mn × 100	P × 1000	S × 1000	Nb × 1000	Cr × 1000	屈強度 引張強度 伸び 引張強度 (N/mm ²) (N/mm ²) (%)
SD295A D16	8.00M	200	2500	28074	20	17	62	24	30			362 499 25 GOOD
SD345 D13	中計 8.00M	600	2500	28223	23	17	74	26	32			382 542 25 GOOD
SD345 D16	中計 8.00M	200	2500	27728	22	15	74	22	30			363 531 26 GOOD
SD295A D10	中計 8.00M	540	2500	28232	20	14	60	23	33			365 494 24 GOOD
SD295A D13	中計 8.00M	300	2419	28177	20	17	61	23	34			362 512 25 GOOD
SD345 D19	中計 7.00M	150	2388	28095	21	16	77	24	28			367 521 28 GOOD
SD345 D22	中計 7.00M	100	2370	27983	23	18	97	26	39	17		408 580 20 GOOD
			2130									
			2130									
			14083									
We hereby certify that material herein has been made and tested in accordance with the above specification and also with the requirements called for the above order.												
上記生産品は軽荷の規格またははば様にてて製造され、その要求事項を満足していることを証明致します。												
01E												
Leader of Quality Control Group 品質管理グループリーダー ^{一郎} 石山 治一郎												

2. 状況写真

2. 1せん断載荷試験



スパイラル鉄筋 D13(SD345)



スパイラル式鉄筋かご



フック式鉄筋かご



コンクリート受入れ試験



コンクリート打設状況



試験供試体養生状況



載荷試験準備状況



載荷試験装置全景



載荷試験立会い状況



載荷試験実施状況(1)



載荷試験実施状況(2)



載荷試験後試験体(1) フック式(E-A面)



載荷試験後試験体(2) スパイラル式(E-A面)



載荷試験後試験体(3) フック式(G-C面)



載荷試験後試験体(4) スパイラル式(G-C面)

2. 2 正負交番曲げ載荷試験



コンクリート打設前型枠状況(フック式)



コンクリート打設前型枠状況(スパイラル式)



コンクリート受入れ試験(フーチング部)



コンクリート受入れ試験(杭体部)



コンクリート打設状況(フーチング部)



コンクリート打設状況(杭体部)



試験体設置状況



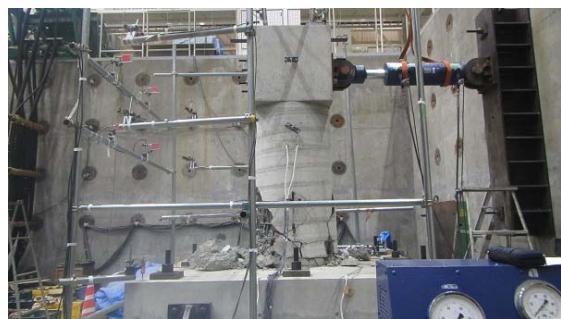
載荷試験装置全景



載荷試験実施状況(1)



載荷試験実施状況(2)



載荷試験後試験体(1) フック式



載荷試験後試験体(2) スパイラル式



載荷試験後帯鉄筋確認(1) フック式



載荷試験後帯鉄筋確認(2) スパイラル式

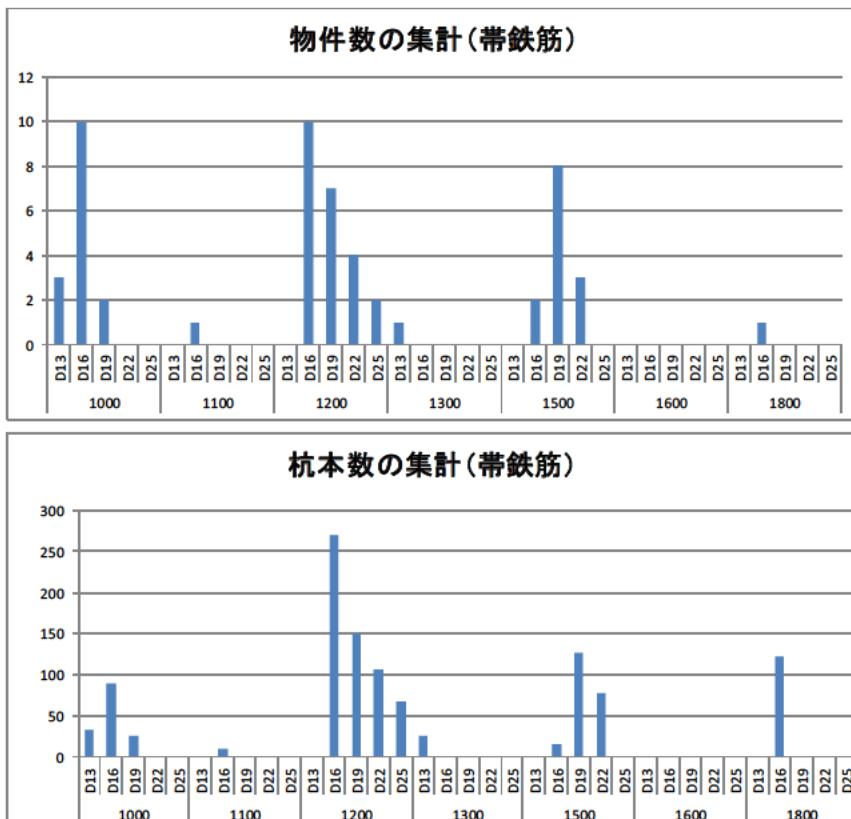
4. 軸方向鉄筋および帶鉄筋に関する実績調査について

(一社) 日本基礎建設協会において、軸方向鉄筋および帶鉄筋に関する実績調査を実施した。調査内容は軸方向鉄筋および帶鉄筋の鉄筋径とその材質である。調査期間は平成 25 年 4 月～平成 27 年 3 月で、調査現場数は 54 件で、杭本数は 1118 本である。

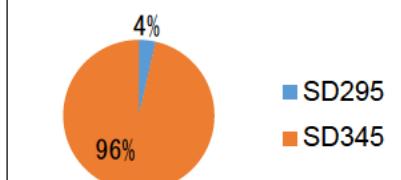
帶鉄筋の材質は SD345 がほとんどで、比率が 96% であった。また、帶鉄筋の最小径は D13 で、最大径は D25 であった。軸方向鉄筋の材質は SD345 が多く、比率は 79% であった。また、軸方向鉄筋の最小径は D22 で、最大径は D35 であった。

帶鉄筋の分布

径	鉄筋径	件数	本数
1000	D13	3	32
	D16	10	89
	D19	2	25
	D22	0	0
	D25	0	0
1100	D13	0	0
	D16	1	10
	D19	0	0
	D22	0	0
	D25	0	0
1200	D13	0	0
	D16	10	270
	D19	7	150
	D22	4	107
	D25	2	68
1300	D13	1	26
	D16	0	0
	D19	0	0
	D22	0	0
	D25	0	0
1500	D13	0	0
	D16	2	15
	D19	8	127
	D22	3	77
	D25	0	0
1600	D13	0	0
	D16	0	0
	D19	0	0
	D22	0	0
	D25	0	0
1800	D13	0	0
	D16	1	122
	D19	0	0
	D22	0	0
	D25	0	0
合計		54	1118



材質による比率

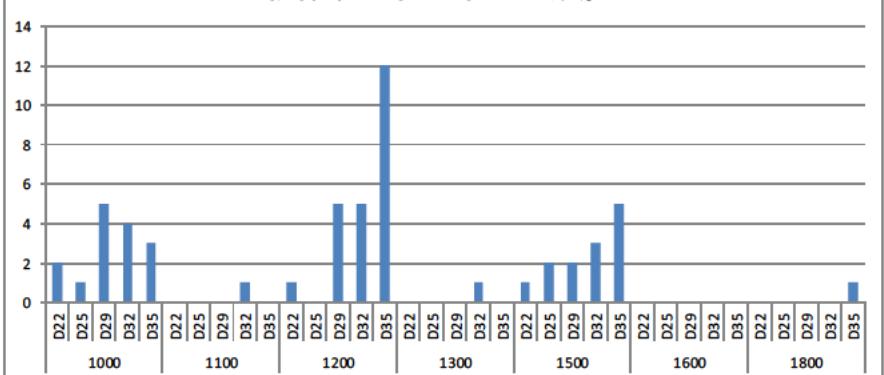


図参 4.1 帯鉄筋に関する調査結果

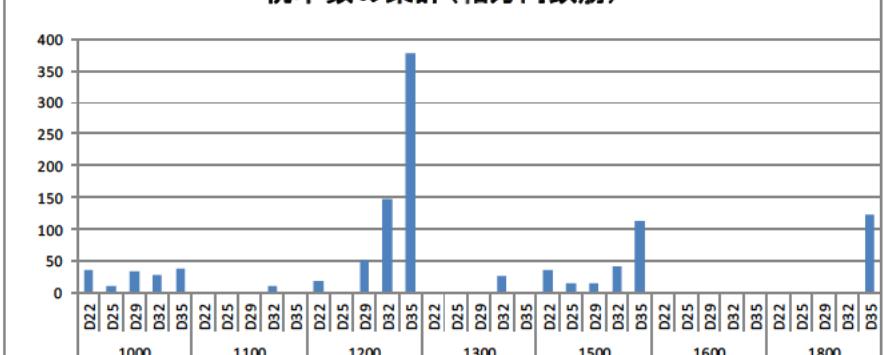
軸方向鉄筋の分布

径	鉄筋径	件数	本数
1000	D22	2	36
	D25	1	10
	D29	5	34
	D32	4	29
	D35	3	37
1100	D22	0	0
	D25	0	0
	D29	0	0
	D32	1	10
	D35	0	0
1200	D22	1	19
	D25	0	0
	D29	5	52
	D32	5	147
	D35	12	377
1300	D22	0	0
	D25	0	0
	D29	0	0
	D32	1	26
	D35	0	0
1500	D22	1	36
	D25	2	14
	D29	2	15
	D32	3	41
	D35	5	113
1600	D22	0	0
	D25	0	0
	D29	0	0
	D32	0	0
	D35	0	0
1800	D22	0	0
	D25	0	0
	D29	0	0
	D32	0	0
	D35	1	122
合計		54	1118

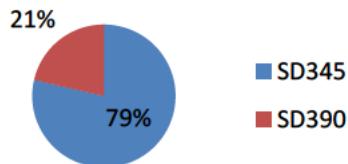
物件数の集計(軸方向鉄筋)



杭本数の集計(軸方向鉄筋)



材質による比率



図参 4.2 軸方向鉄筋に関する調査結果

共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
No.497 February 2018

編集・発行 ©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 電話029-879-6754