開先付き異形棒鋼 NewJ-BAR
溶接する異形棒鋼の日本標準

国土交通大臣認定品
認定番号 MSRB-0118（WSD390　WD32Ｊ、WD35Ｊ、WD38Ｊ）
MSRB-0120　(WSD490　WD32J、WD35J、WD38J)
MSRB-0129　(WSD490　WD41J 長岡工場)
MSRB-0119　(WSD490　WD41J 三条工場)
MSRB-0108　(WSD490　WD41J JFE 条鋼)

WSD390　WSD490、 設計マニュアル
（杭頭補強編）

2024 年 2 月改訂

株式会社　ブレイブ

株式会社　クラウン

㈱ブレイブ Tel　03-6441-3065
URL　http://www.j-bar.jp/
E-Mail　j-bar@nifty.com

目　次

1章　総則――――――――――――――――――――――――――――――――――――――　P 3
　1.1　目的　P 3
　1.2　適用範囲　P 4
2章　開先付き異形棒鋼の品質基準および規格――――――――――――――――　P 6
　2.1　開先付き異形棒鋼の品質基準　P 6
　　2.1.1　開先付き異形棒鋼の種類　P 6
　　2.1.2　化学成分　P 6
　　2.1.3　機械的性質　P 6
　2.2　開先付き異形棒鋼の規格　P 7
　　2.2.1　寸法、質量および節の許容限界　P 7
　　2.2.2　長さおよび重量　P 8
3章　許容応力度および材料強度――――――――――――――――――――――――　P 8
　3.1　材料の許容応力度　P 8
　3.2　開先付き異形棒鋼の鋼材との溶接部の許容応力度　P 10
　3.3　材料強度の基準強度等　P 10
4章　杭頭部の設計――――――――――――――――――――――――――――――――　P 12
　4.1　溶接継目の設計　P 12
　　4.1.1　溶接長の定義　P 12
　　4.1.2　継目の形式　P 12
　　4.1.3　開先形状　P 12
　　4.1.4　溶接継目の耐力　P 12
　4.2　杭頭部の詳細設計　P 18
　　4.2.1　杭頭部の構成　P 18
　　4.2.2　開先付き異形棒鋼の配列設計　P 20
　　4.2.3　開先付き異形棒鋼の定着長さ　P 21
　　4.2.4　杭頭補強筋が基礎梁との関係で柱梁接合部を形成する場合の配慮　P 22
　　4.2.5　開先付き異形棒鋼の曲げ加工　P 23
　4.3　杭頭部の断面検定　P 26
　　4.3.1　基本仮定と断面検定　P 26
　4.4　設計用計算式　P 28
　　4.4.1　はじめに　P 28
　　4.4.2　適用範囲　P 28
　　4.4.3　許容応力度設計　P 28
　　4.4.4　終局強度設計　P 30
　　4.4.5　M-N 図出力例　P 32
　4.5　標準的な設計計算フローチャート　P 39

5章　資料　――――――――――――――――――――――――――――――――――――
　－　P 40
　資料-1. SC 杭と開先付き異形棒鋼による杭頭接合部の正負交番載荷実験例　P42
　資料-2. 構造計算書作成依頼シート　P43
　資料-3. 杭頭補強の設計・施工に関する特記仕様書

1章　総　則

1.1　目的

本マニュアルは、開先付き異形棒鋼を鋼管杭や鋼管とコンクリートとの複合杭に杭頭補強筋として用いる場合において、必要となる設計の基本的な考え方を示すことを目的とする。なお、開先付き異形棒鋼は材料としての大臣認定であり、工法認定ではない。そのため開先付き異形棒鋼の標準的な工法を表示し、本マニュアルを作成する。尚、施工に関しては、指定性能評価機関から確認を受けた㈱ブレイブ作成の施工要領書に準拠すること。その内容よりも性能が上回る事項の場合は、設計者判断にて採用可能とする。

【 解 説 】

1）開先付き異形棒鋼の概要

異形棒鋼は、鉄筋コンクリート構造を構成する主筋として、JISG3112（1964 年）が改正されてから 40 数年にわたり、付着機能を高めるための節（ふし）を一様に成形した表面形状を基本としている。

近年、異形棒鋼は、新材料および新工法の開発に伴い、基礎フーチングと鋼管杭との接合など、鉄筋コンクリートと鉄骨との境界構造に適用される状況において、本来のコンクリートとの付着機能と共に鋼材との溶接機能も必要となっている。

しかしながら、これまで異形棒鋼の基本形状とされてきた節は、溶接品質を保証すると同時にその経済性への影響も考慮して標準とされている開先形状に適合しない粗い溶接面を形成することとなり、初層の溶け込み不良などの溶接欠陥を発生する恐れがある。

したがって、溶接部の健全性を高めるためには、鋼材との溶接性を考慮した開先を節と共に複合した、新たな形態の開先付き異形棒鋼が求められることとなる。

J-BAR は、JIS G 3112 に準拠する異形棒鋼の節がある表面に JSSC（日本鋼構造協会）の開先標準に適合する J 形開先をロール成形するとともに、化学成分である炭素当量を Ceq（C＋Mn／6）≦0.44 に成分調整して鋼材との溶接性を考慮した建築材料であり、構造の分野において、唯一溶接が可能な異形棒鋼としての地位を確立しつつある。構造設計に携わる方々からの信頼が増しており、公的な確認機関からの信頼性も高まってきているものと思われ、それゆえに、一層の完璧性を求められる傾向にもある。

NewJ-BAR は、これまでの J-BAR（大臣認定品）の適用範囲を拡張するとともに高強度鋼材への適用も視野に入れ、その関連機能を改善した建築材料であり、平成 22 年 7 月 30 日付けで建築基準法第 37 条第二号の国土交通大臣の認定と建設省告示第 2464 号の規定に基づき溶接部の許容応力度の基準強度について 390 N/mm^2 の指定を受けている。

NewJ-BAR を使用することで、これまでの節がある異形棒鋼にそのままフレア溶接する方法において課題とされていた、粗い溶接面での初層の溶け込み不良などの溶接欠陥の発生の問題と、計測が不能で困難であった有効のど厚の管理の問題を解決して、溶接部の健全性および施工性を著しく向上させるものとなった。

NewJ-BAR の採用実績が増えるにつれ、使用者から杭頭補強筋の本数が多く基礎や基礎梁の配筋と干渉する事例があり、NewJ-BAR の更なる強度化の要望が高くなった。そのため、溶接性と高靭性に配慮した 490 N/mm^2 級の NewJ-BAR の開発を行い、サイズ WD32N～WD38N、WD41J（WSD490）の大臣認定を取得している。その後サイズ WD32N～WD38N に関し、開先部の若干の改良を行い、WD32 J ～WD38 J の認定取得を行っている。

2）設計マニュアルの構成

本マニュアルは、四角枠で囲った本文と、その解説で構成されている。このうち設計の指針に該当するものは本文であり、開先付き異形棒鋼の通常の用法においては、本文の記述内容に沿って設計が行なわれれば、安全性が確保できるようになっている。

また、第 5 章は、資料 1. に.実験結果概要を、開先付き異形棒鋼の構造設計及び構造設計図書作成に関するエンジニアリングサポートに係わる、資料-2.「構造計算書作成依頼シート」及び資料-3.「杭頭補強の設計・施工に関する特記仕様書」を示している。

なお、「杭頭補強の設計・施工に関する特記仕様書」は、構造設計図書に記載（貼付）することを目的としたものであり、開先付き異形棒鋼に係わる「設計・施工・溶接施工検査」について簡潔にまとめたものである。

1.2　適用範囲

1）開先付き異形棒鋼を杭頭補強筋として適用する杭種は、ＳＣ杭、鋼管杭および外殻鋼管場所打ちコンクリート杭の杭頭鋼管とする。

2）杭の鋼材材種は溶接部の許容応力度の基準強度が指定されている下記とする。

鋼種１：SS400、SM400A、SM400B、STK400、SN400A、SN400B、SN400C、SKK400、STKN400B
鋼種２：SM490A、SM490B、STK490、SN490B、SN490C、SKK490、STKN490B、STKN490C
鋼種３：SM520B、SM520C
鋼種４：STK540、STKT540
鋼種５：T-DAC385
鋼種６：HT570P、SM570
鋼種７： SA440、HT590P

3）杭の鋼材板厚は下表とする。ただし、この鋼材板厚は「4.1 溶接継目の設計」を満足する必要最低限の板厚であるため、より厚い板厚にして余裕を持たせることが望ましい。

開先付き異形棒鋼の呼び名	開先付き異形棒鋼の種別　WSD390		開先付き異形棒鋼の種別　WSD490	
	鋼　材　の　板　厚			
	鋼種１（400Ｎ級）	鋼種２（490Ｎ級）以上	鋼種１（400Ｎ級）	鋼種２（490Ｎ級）以上
WD32Ｊ	８㎜以上	６㎜以上	８㎜以上	８㎜以上
WD35Ｊ	９㎜以上	７㎜以上	９㎜以上	
WD38Ｊ	１０㎜以上	８㎜以上	１０㎜以上	
WD41Ｊ	－	－	１１㎜以上	９㎜以上

4）補強を施す杭径は直径 250φ以上のものを対象とする。

5）基礎フーチングコンクリートの設計基準強度は、開先付き異形棒鋼が WSD390 の場合Ｆｃ２１以上、WSD490 の場合Ｆｃ２４以上とする。

【 解 説 】

1）継ぎ杭の杭種

上杭、中杭、下杭などの継ぎ杭となる場合には上杭の杭種を鋼管杭またはＳＣ杭とする。

2）鋼材材種

開先付き異形棒鋼の適用可能な鋼材材種は、400 N/㎜²級鋼材（以下「鋼種 1」という）、490 N/㎜²級鋼材（以下「鋼種 2」という）、520 N/㎜²級鋼材（以下「鋼種 3」という）、540 N/㎜²級鋼材（以下「鋼種 4」という）、550 N/㎜²級鋼材（以下「鋼種 5」という）および 570 N/㎜²級の鋼材（以下「鋼種 6」という）、建築構造用高性能 590N/㎟鋼材（以下「鋼種 7」という）とする。

なお、NewJ-BAR を溶接するにあたり、鋼材側も平成 12 年建設省告示第 2464 号に基づき溶接部の許容応力度の基準強度の指定を受けている必要があり、NewJ-BAR と鋼材の小さい方の値を採用する。

3）補強筋本数設定

本設計マニュアルは、補強筋が等間隔に配置されることを前提に、補強筋本数設定を補強筋本数が８本以上の場合には補強筋断面積を円環に置換した仮定により算出し、補強筋が 8 本未満の場合には補強筋群を円環に置換するのではなく補強筋の配置状況に応じて最小の M-N 値を与える弱軸方向について算出する。

4）基礎のコンクリート設計基準強度

開先付き異形棒鋼の標準定着長さはコンクリートとの付着強度で決めており、基礎フーチングのコンクリートの設計基準強度は、WSD390 材の場合Ｆc２１以上、WSD490 材の場合Ｆｃ２４以上としている。ただし、経済的な杭頭補強設計のためには、Ｆc２７以上が望ましい。杭頭接合部の曲げ強度、特に短期許容曲げ応力は、基礎の設計基準強度 Fc が大きい場合は中立軸の引張側に配置された補強筋の強

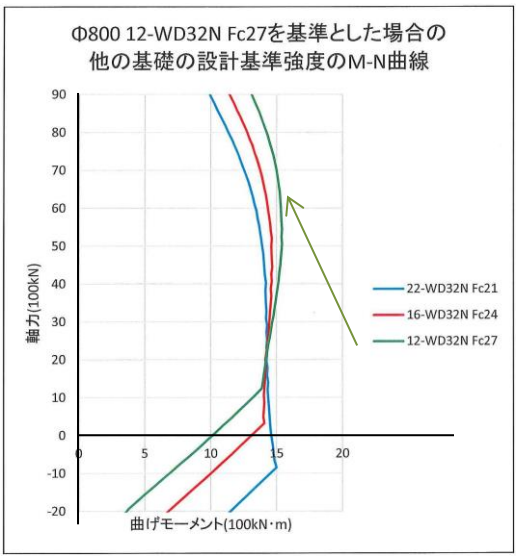


図 1.1 基礎コンクリート設計基準強度の差異による必要補強筋量

度により決定するが、設計基準強度 Fc が小さい場合は圧縮側のコンクリートの短期許容応力度で決まり、曲げ強度を確保するため圧縮側に補強筋の断面積(コンクリートの断面積に換算する補強筋断面積×ヤング係数比)が多く必要となるからである。

図 1.1 に杭径 800φの場合を例に基礎設計基準強度 Fc の差異による杭頭補強筋量に与える影響を示す。図は杭長期許容支持力近傍において、一定の許容曲げ応力を得る補強筋量を求めたものである。コンクリート設計基準強度がＦc21 の場合補強筋が 22 本必要となるが、Ｆc27 の場合は 12 本で充足できることを示す。

5）準拠基規準

本マニュアルは、下記の基規準に準拠する。

1）建築基準法　同施行令および関連告示
2)「鋼構造設計規準・許容応力度設計法(2005)」日本建築学会
3)「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2018)」日本建築学会
4)「建築基礎構造設計規準・同解説(2019)」日本建築学会
5)「地震力に対する建築物の基礎の設計指針(1984)」日本建築センター
6)「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(2001)」日本建築学会
7)「鋼管構造設計施工指針同解説(1990)」日本建築学会
8)「建築物の構造関係技術基準解説書 2015 年版」監修　国土交通省住宅局建築指導課
9)「建築工事標準仕様書 JASS6　鉄骨工事(2018)」日本建築学会
10)「建築工事標準仕様書 JASS5　鉄筋コンクリート工事(2018)」日本建築学会
11)「鉄骨工事技術指針(2018)」日本建築学会
12)「鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説(2010)」日本建築学会
13)「杭頭接合部設計法　コンクリートパイル技術者講習会平成２年」(社) コンクリートパイル建設技術協会

２章　開先付き異形棒鋼の品質基準および規格

2.1　開先付き異形棒鋼の品質基準

2.1.1　開先付き異形棒鋼の種類

開先付き異形棒鋼の種類は、表 2.1 による。

表 2.1　開先付き異形棒鋼の種類

種類の記号	サイズ	呼び名
ＷＳＤ３９０	Ｄ３２相当	ＷＤ３２Ｊ
	Ｄ３５相当	ＷＤ３５Ｊ
	Ｄ３８相当	ＷＤ３８Ｊ
ＷＳＤ４９０	Ｄ３２相当	ＷＤ３２Ｊ
	Ｄ３５相当	ＷＤ３５Ｊ
	Ｄ３８相当	ＷＤ３８Ｊ
	Ｄ４１相当	ＷＤ４１Ｊ

2.1.2　化学成分

開先付き異形棒鋼の化学成分溶鋼分析値は、表 2.2 による。

表 2.2　化　学　成　分

種類の記号	化　学　成　分（%）					
	Ｃ	Ｓｉ	Ｍｎ	Ｐ	Ｓ	炭素等量（Ｃ＋Ｍｎ/6）
WSD390	0.26 以下	0.45 以下	1.20 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.44 以下
SD390	0.29 以下	0.55 以下	1.80 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.55 以下
WSD490	0.26 以下	0.45 以下	1.32 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.48 以下
SD490	0.32 以下	0.55 以下	1.80 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.60 以下

備考 1.　化学成分は、取鍋分析値とする。

備考 2.　SD390 および SD490 は JIS G 3112:2010 異形棒鋼の数値であり、対比のために記載した。

2.1.3　機械的性質

開先付き異形棒鋼の、降伏点又は 0.2%耐力、引張強さ、降伏比、伸び及び曲げ性は表 2.3　による。なお、曲げ性の場合はその外側に亀裂を生じてはならない。

表 2.3　機　械　的　性　質

種類の記号	降伏点 又 0.2%耐力 (N/mm²)	引張強さ (N/mm²)	降伏比 (%)	伸 び		曲げ性	
				試験片	(%)	曲げ角度	内側半径
WSD390	390～510	560 以上	80 以下	14A 号	17以上※2	180°	2.5d※4
SD390	390～510	560 以上	80 以下	14A 号	17以上※2		
WSD490	490～625	655 以上	80 以下	14A 号	15以上	90°	3.0d※4
SD490	490～625	620 以上	80 以下	14A 号	13以上※3		2.0d※4

備考 1.　SD390 および SD490 は JIS G 3112 異形棒鋼の数値であり、対比のために記載した。

備考 2. WD32J を越えるものについては、4%を限度として、呼び名が3増すごとに上表の伸び値から 2%を減じる。したがって、WD35J は 15%以上及び WD38J は 13%以上の伸びとなる。SD390 の場合も同様である

備考 3. SD490 の D32 を超えるものについては、4%を限度として、呼び名 3 を増すごとに上表の伸び値から 2%を減じる。

備考 4. 内側半径における記号dは公称直径を示す。

~~備考 5. 通常の異形棒鋼には降伏比の規定はないが、開先付き異形棒鋼 WSD390、WSD490 については性能向上を目的とし製造規格として特別に降伏比の制限値を追加している。~~

2.2　開先付き異形棒鋼の規格

2.2.1　寸法・質量および節の許容限界

開先付き異形棒鋼の寸法・質量及び節の許容限界は表 2.4 とし、形状を図 2.1 に示す。
なお、公称直径、公称周長、公称断面積、単位質量は異形棒鋼 JIS 規格と同一である。

表 2.4　　寸法、質量及び節の許容限界

呼び名	公称直径 (d) mm	公称周長 (l) cm	公称断面積 (s) cm²	単位質量 kg/m	節の平均間隔の最大値 (P1) mm	節の高さ (h1) mm 最小値	節の高さ (h1) mm 最大値	節の幅 (w1) mm	節の頂部の幅(w2) mm 最小値	節の頂部の幅(w2) mm 最大値	節と軸線との角度 (α) 度	J開先の角度 * (θ) 度	J開先のルート半径 * (r) mm	開先凸部の平均間隔の最大値* (P2) mm	開先凸部の高さ * (h2) mm	開先間凹部深さ * (h3) mm	単位質量の許容差 %
WD32J	31.8	10.0	7.942	6.23	22.3	1.6	3.2	9±2	1.8	4.8	45 以上	42.5 ±2.5	9±2	12.0	0.7± 0.2	0.6 以上	±4
WD35J	34.9	11.0	9.566	7.51	24.4	1.7	3.4	10±2	2.0	5.0				13.0	0.8± 0.2	0.9 以上	
WD38J	38.1	12.0	11.40	8.95	26.7	1.9	3.8	10±2	2.0	5.0							
WD41J	41.3	13.0	13.40	10.5	28.9	2.1	4.2	11±2	2.0	5.0				14.0	0.9 ± 0.2	1.4 以上	

備考1. 公称断面積、公称周長及び単位質量の算出方法は、次による。

公称断面積 (S)＝0.7854×d^2/100　:有効数字 4 桁に丸める。

公称周長　(l)＝0.3142×d:小数点以下 1 桁に丸める。(P9　解説を参照する)

単位質量　　＝0.785×S　:有効数字 3 桁に丸める。

備考2. 節の間隔は、算出値を小数点以下1桁に丸める。

備考3. ＊印は、JIS G3112 に定めのない規格である。

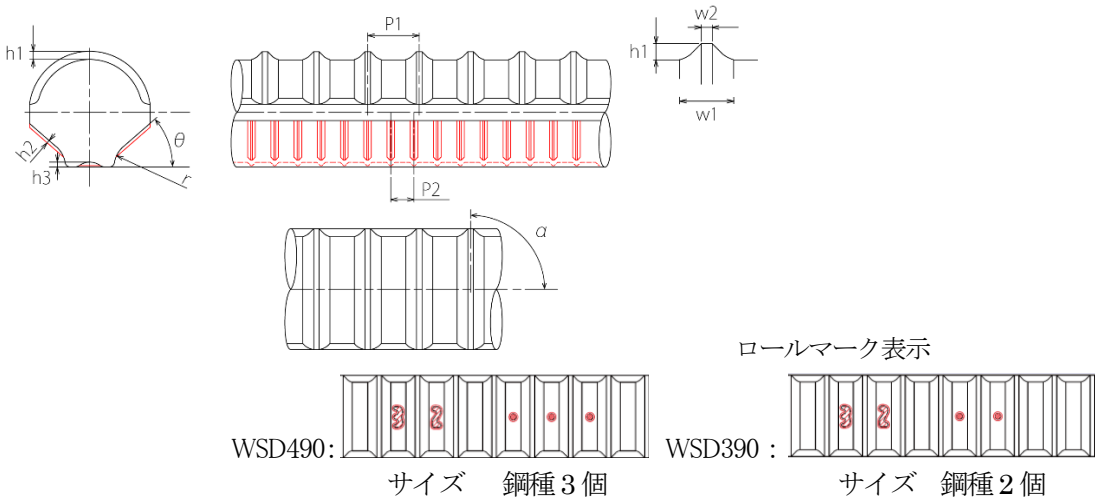


図 2.1 開先付き異形棒鋼の形状とロールマーク

2.2.2　長さおよび重量

開先付き異形棒鋼の長さ、重量および長さ公差を表 2.5 に示す。なお、製品長さは標準長であり、「4.2.3 開先付き異形棒鋼の定着長さ」に基づき、設計者の判断により、標準長より長いものや、基礎コンクリートの設計基準強度に応じて短いものを設定できる。

表 2.5　開先付き異形棒鋼の長さ、重量および長さ公差

材種	呼び名	定着長タイプ	溶接長+余長*1	製品長さ　mm	製品重量 kg	長さ交差 mm
			鋼種 1／鋼種 2 以上	鋼種 1／鋼種 2 以上	鋼種 1／鋼種 2 以上	
WSD 390	WD32J	35d	160／160	1,280／1,280	7.97／7.97	0～15
	WD35J		180／180	1,410／1,410	10.6／10.6	
	WD38J			1,510／1,510	13.5／13.5	
WSD 490	WD32J	42 d	200／170	1,550／1,520	9.66／9.47	
	WD35J		220／200	1,690／1,670	12.7／12.5	
	WD38J			1,820／1、800	16.3／16.1	
	WD41J		240／210	1,970／1,940	20.7／20.4	

備考*1. 上表における溶接長+余長の寸法は、標準溶接長（両端にのど厚分の余長を含む）と、杭に補強筋を配置する場合の施工誤差吸収用のための寸法（溶接部の上下 10 ㎜ずつ）を加えた数値を示す。

３章　許容応力度および材料強度

3.1　材料の許容応力度

開先付き異形棒鋼に関する各種許容応力度を、表 3.1～表 3.3 に示す。

表 3.1　開先付き異形棒鋼の許容応力度（N/㎜²）

記 号	基準強度 F 値	長期許容応力度	短期許容応力度	備 考
		引張・圧縮	引張・圧縮	
WSD390	390	195	390	WD32J～WD38J
SD390	390	215	390	D25 以下
		195		D29 以上
WSD490	490	195	490	WD32 J～WD41 J
SD490	490	215	490	D25 以下
		195		D29 以上

備考1. SD390 および SD490 は JIS G 3112 異形棒鋼の数値であり、対比のために記載した。

表 3.2　コンクリートとの許容付着応力度（N/㎜²）

コンクリート設計基準強度 Fc	長期許容応力度	短期許容応力度*2
22.5 以下の場合	Fc／10	長期に対する値×1.5
22.5 を超える場合	1.35＋Fc／25	長期に対する値×1.5

備考1. Fc:コンクリートの設計基準強度(N/㎜²)
備考2. 短期の許容付着応力度は日本建築学会「RC規準」による。
備考3. 曲げ材上端筋として配置された場合の許容付着応力度は上表とは異なる。

表 3.3　開先付異形棒鋼を溶接する鋼材の許容応力度（N/㎜²）

材種	基準強度F値	長期許容応力度		短期許容応力度		板厚
		引張・圧縮	せん断	引張・圧縮	せん断	
鋼種１	235	156	90	235	135	板厚 40 ㎜以下
鋼種２	325	216	125	325	187	
鋼種３	355	236	136	355	204	
鋼種４	375	250	144	375	216	
鋼種５	385	256	148	385	222	
鋼種６	400	266	153	400	230	
鋼種７	440	293	169	440	254	

備考１．鋼種１：SS400、SM400A、SM400B、STK400、SN400A、SN400B、SN400C、SKK400、STKN400B
鋼種２：SM490A、SM490B、STK490、SN490B、SN490C、SKK490、STKN490B、STKN490
鋼種３：SM520B、SM520C
鋼種４：STK540、STKT540 等
鋼種５：T-DAC385 等
鋼種６：HT570P、SM570 等
鋼種７：SA440,HT590P

【解説】開先付き異形棒鋼の公称周長及びコンクリートとの許容付着応力度

開先付異形棒鋼のコンクリートとの付着性能を確認するため、性能評価機関である（一財）ベターリビングにて、JIS 異形棒鋼の試験体と同一条件で各径毎に試験を行い、開先付き異形棒鋼が異形棒鋼と同じ公称周長であることを前提に、JIS 異形棒鋼と同等の付着性能を有し、建設省平成 12 年告示第 1450 号の条件を満たすことを確認した。

上記より、開先付き異形棒鋼の公称周長は JIS 異形棒鋼と同一の数値とし、長期の許容付着応力度は同上の告示による数値（日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」以降学会 RC 規準と称す、と同一）を採用し、短期の許容付着応力度は、学会 RC 規準に準拠し、長期の 1.5 倍の数値を採用した。

参考までに、図 3.1 に付着性能試験の結果を代表して呼び名 32㎜ の場合を示す。なお、付着性能試験において、（財）建材試験センターの付着強さ試験法に示された判定である、微小すべり量（0.002ｄ(公称直径)、図 3.1 図中縦赤線）時の付着応力度が告示による長期許容付着応力度を上回っていることを、同時に確認している。

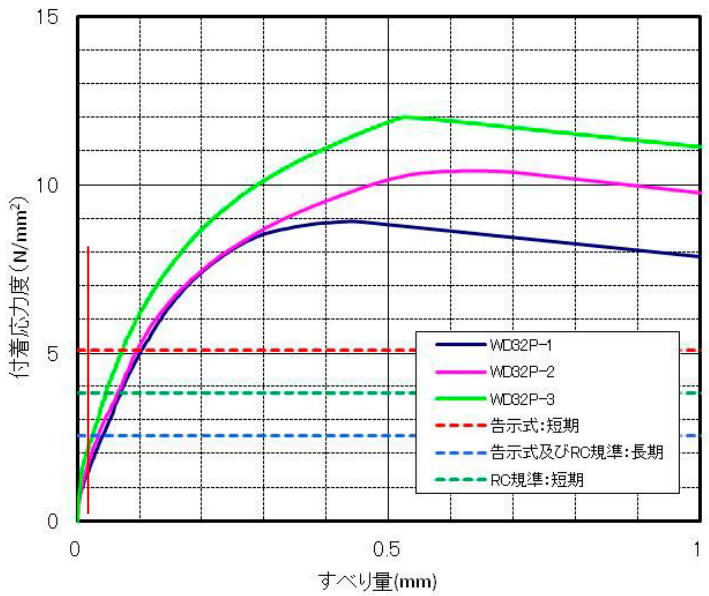


図 3.1　開先付異形棒鋼 WSD390 WD32N の結果

3.2　開先付異形棒鋼の鋼材との溶接部の許容応力度

開先付き異形棒鋼と鋼材との溶接部の許容応力度を表 3.4（a）に示す。

表 3.4（a）　鋼材と開先付き異形棒鋼との溶接部の許容応力度（N/mm²）

材種	基準強度F値	長期許容応力度	短期許容応力度	板厚	開先付き異形棒鋼の種別
		せん断	せん断		
WSD390	390	150	225	―	―
WSD490	490	188	282		
鋼種1	235	90	135	板厚 40 mm 以下	WSD390 および WSD490 の場合
鋼種2	325	125	187		
鋼種3	355	136	204		
鋼種4	375	144	216		
鋼種5	385	148	222		
鋼種6	400	150	225		WSD390 の場合
		153	230		WSD490 の場合
鋼種 7	440	150	225		WSD390 の場合
		169	254		WSD490 の場合

備考１．鋼種は表 3.3 と同じとする。
備考２．強度の異なる鋼材と接合する場合は、基準強度Ｆ値の低いものの値を用いるものとする。

表 3.4（b）　参考　JIS 異形棒鋼と鋼材との溶接部の許容応力度（N/mm²）

材種	基準強度F値	長期せん断許容応力度		短期せん断許容応力度		板厚
		SD390	SD490	SD390	SD490	
鋼種1	235	90	0	135	0	板厚 40 mm以下
鋼種2	325	125		187		
鋼種3	355	136		204		
鋼種4	375	144		216		
鋼種5	385	148		222		
鋼種6	400	150		225		
鋼種 7	440	150		225		

備考1. 鋼種は表 3.3 と同じとする。
備考2. 強度の異なる鋼材と接合する場合は、基準強度F値の低いものの値を用いるものとする。
備考3. JIS 異形棒鋼の SD490 材の溶接部の許容応力度は認められていない。

3.3　材料強度の基準強度等

1)許容応力度の基準強度

開先付き異形棒鋼および溶接部の許容応力度の基準強度F値は、WSD390 材が 390N／mm²、WSD490 材が 490N/mm²とする。

2)材料強度の基準強度

開先付き異形棒鋼および溶接部の材料強度の基準強度は、WSD390 材が上記のFの 1.1 倍(429N/mm²)以下の数値とすることができる。WSD490 材は 490N/mm²とする。

3)上限強度

杭頭部および連結する部材のせん断など危険な破壊形式を防止するための計算に用いる、開先付き異形棒鋼の上限強度は、WSD390 材の場合 F値の 1.25 倍(488N/mm²)、WSD490 材の場合 F値の 1.20 倍(588 N/mm²)とする。

【解説】

1）許容応力度の基準強度

JIS 異形棒鋼の場合、SD390 材の許容応力度および溶接部の許容応力度の基準強度F値は 390N／mm^2 であり、SD490 材の許容応力度の基準強度F値は 490N／mm^2 であるが、溶接部の許容応力度の基準強度F値は認められていない。

2）材料強度の基準強度

JIS 異形棒鋼の場合、SD390 材の材料強度および溶接部の材料強度の基準強度F値は 429N／mm^2 まで認められ、SD490 材の材料強度の基準強度F値は 490N／mm^2 が認められているが、溶接部の材料強度の基準強度F値は認められていない。

3）上限強度

異形棒鋼の上限強度とは、製造上のばらつきでの降伏点強度のほぼ上限を表す数値で、曲げ引張材の降伏点の上昇によりせん断破壊など脆性的な破壊発生の危険の防止を検証する場合に、降伏点として用いる。

４章　杭頭部の設計

4.1　溶接継目の設計

4.1.1　溶接長の定義

図面に記載する溶接長Ｌ（以下、溶接長という）は、表4.2に示す標準溶接長を採用した場合の溶接部の断面検定、偏心曲げモーメントに対する支圧抵抗及び鋼板最小板厚を検討しているため、標準溶接長以上とする必要がある。また、溶接長の内、有効のど厚の２倍を引いた溶接部分を有効溶接長とする。

4.1.2　継目の形式

開先付き異形棒鋼の溶接継目の形式は、部分溶込み溶接とする。

4.1.3　開先形状

開先部の形状は、「図2.1　開先付き異形棒鋼の形状とロールマーク（ P7 ）」に示す両面Ｊ形とし、以下の規定を満たすものとする。

１）溶接継目の有効面積

溶接部の有効面積は、(有効溶接長)×(有効のど厚)とする。

ａ）開先付き異形棒鋼の有効のど厚

両面Ｊ形開先の有効のど厚は、グルーブの開先深さ以内とし、下記の通りに設定する。

表4.1　開先付き異形棒鋼の有効のど厚

開先付き異形棒鋼の呼び名	有効のど厚　㎜
WD32J	10.0
WD35J	10.5
WD38J	12.5
WD41J	13.0

ｂ）開先付き異形棒鋼の標準溶接長は、有効溶接長に有効のど厚の２倍を加えた下表の数値とする。

表4.2　開先付き異形棒鋼の標準溶接長

開先付き異形棒鋼呼び名	開先付き異形棒鋼種別WSD390		開先付き異形棒鋼種別WSD490	
	標　準　溶　接　長　㎜			
	SKK400等 鋼種1	SKK490等 鋼種2および鋼種3～6	SKK400等 鋼種1	SKK490等 鋼種2および鋼種3～7
WD32J	140	140	180	150
WD35J	160	160	200	180
WD38J				
WD41J	－	－	220	190

備考：鋼種が、3～7の鋼材に溶接する場合の溶接長は上表の数値を採用できるが、溶接部の許容応力度に応じて適切に設定することができる。ただし、開先付き異形棒鋼を鋼板の片側に溶接接合するなど芯ずれにより偏心モーメントが生じる場合はコンクリートの支圧により抵抗できなくてはならない。

4.1.4　溶接継目の耐力

鋼材と開先付き異形棒鋼の溶接継目は、4.1.3 の標準溶接長を採用している場合は適用範囲内の鋼種および鋼材板厚に対して、許容応力度設計ならびに終局強度設計の保有耐力接合を 100%満足する。したがって溶接継目の設計計算は省略できる。

なお、鋼材と開先付き異形棒鋼軸線と溶接される鋼板軸線との偏心により生じる曲げモーメントは、鋼板とフーチングコンクリート間の支圧力で抵抗させることとし、溶接継目に偏心曲げモーメントを負担させないこととする。この偏心曲げモーメントに対する支圧抵抗の計算は、4.1.3　ｂ）表の適用範囲以内の鋼材材種、鋼材板厚およびコンクリート基準強度の場合であれば省略できる。

【 解 説 】

1）溶接部の断面検定

a）許容応力度設計

溶接部は許容応力度設計における（4.1）式を満たすこととする。

$$\frac{\sigma 1 \times As}{2a \times fs \times (L-2a)} \leq 1.0 \qquad (4.1)$$

ここに、 $\sigma 1$ ：開先付き異形棒鋼の短期許容引張応力度（N／㎜²）

As ：開先付き異形棒鋼の断面積（㎜²）

fs ：溶接部の短期許容せん断応力度（N／㎜²）

a ：Ｊ形開先の有効のど厚（㎜）

$(L-2a)$ ：有効溶接長、溶接長からのど厚の２倍を差し引いた長さ(㎜)

標準溶接長の場合の計算例（許容応力度計算）

開先付異形棒鋼				溶接部			安全性検証
種別	呼び名	断面積／のど厚	許容応力度	鋼種	溶接長	許容応力度	
WSD390	WD32J	794.2／10	390.	1	140	135	390×794.2／(2×10.0×135(140－2×10.0)) ＝0.956 ≦1.0　OK
	WD35J	956.6／10.5			160		390×956.6／(2×10.5×135(160－2×10.5)) ＝0.947 ≦1.0　OK
	WD38J	1140.／12.5					390×1140.／(2×12.5×135(160－2×12.5)) ＝0.976 ≦1.0　OK
	WD32J	794.2／10		2	140	187	390×794.2／(2×10.0×187(140－2×10.0)) ＝0.690 ≦1.0　OK
	WD35J	956.6／10.5			160		390×956.6／(2×10.5×187（160－2×10.5)) ＝0.683 ≦1.0　OK
	WD38J	1140.／12.5					390×1140／(2×12.5×187（160－2×12.5)) ＝0.704 ≦1.0　OK
WSD490	WD32J	794.2／10	490.	1	180	135	490×794.2／(2×10.0×135(180－2×10.0)) ＝0.900 ≦1.0　OK
	WD35J	956.6／10.5			200		490×956.6／(2×10.5×135(200－2×10.5)) ＝0.924 ≦1.0　OK
	WD38J	1140.／12.5					490×1140.／(2×12.5×135(200－2×12.5)) ＝0.946 ≦1.0　OK
	WD41J	1340.／13.0			220		490×1340.／(2×13.0×135(220－2×13.0)) ＝0.964 ≦1.0　OK
	WD32J	794.2／10		2	150	187	490×794.2／(2×10.0×187(150－2×10.0)) ＝0.800 ≦1.0　OK
	WD35J	956.6／10.5			180		490×956.6／(2×10.5×187(180－2×10.5)) ＝0.751 ≦1.0　OK
	WD38J	1140.／12.5					490×1140.／(2×12.5×187(180－2×12.5)) ＝0.771 ≦1.0　OK
	WD41J	1340.／13.0			190		490×1340.／(2×13.0×187(190.－2×13.0)) ＝0.823 ≦1.0　OK

b）終局強度設計

溶接部は終局強度設計における（4.2）式による保有耐力接合の条件を満たすようにする。

$$\frac{1.2 \times F \times As}{2a \times \sigma u \times (L - 2a)} \leq 1.0 \qquad (4.2)$$

ここに、 F ：開先付き異形棒鋼の基準強度（N／㎜²）

As ：開先付き異形棒鋼の断面積（㎜²）

a ： J 形開先の有効のど厚（㎜）

σu ：溶接部の破断応力度（N／㎜²）

$(L - 2a)$ ：有効溶接長、溶接長から、のど厚の２倍を差し引いた長さ(㎜)

標準溶接長の場合の計算例（保有耐力接合）

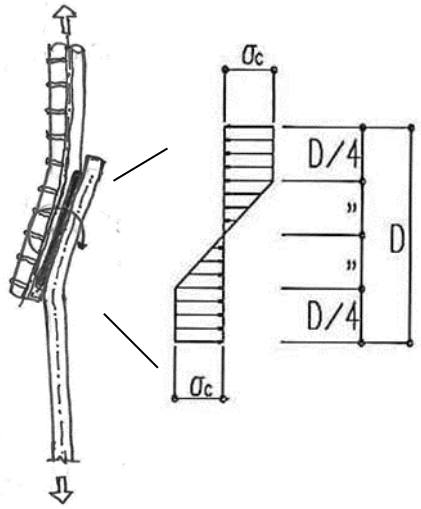
開先付き異形棒鋼				溶接部			安全性検証
種別	呼び名	断面積／のど厚	基準強度	鋼種	溶接長	破断応力度	
WSD390	WD32J	794.2／10	390.	1	140	230	1.2×390×794.2 ／ (2×10.0×230.(140 − 2×10.0)) =0.674 ≦1.0 OK
	WD35J	956.6／10.5			160		1.2×390×956.6 ／ (2×10.5×230.(160 − 2×10.5)) =0.667 ≦1.0 OK
	WD38J	1140.／12.5					1.2×390×1140. ／ (2×12.5×230.(160 − 2×12.5)) =0.688 ≦1.0 OK
	WD32J	794.2／10		2	140	282	1.2×390×794.2 ／ (2×10.0×282.(140 − 2×10.0)) =0.550 ≦1.0 OK
	WD35J	956.6／10.5			160		1.2×390×956.6 ／ (2×10.5×282.(160 − 2×10.5)) =0.544 ≦1.0 OK
	WD38J	1140.／12.5					1.2×390×1140. ／ (2×12.5×282.(160 − 2×12.5)) =0.561 ≦1.0 OK
WSD490	WD32J	794.2／10	490.	1	180	230	1.2×490×794.2 ／ (2×10.0×230.(180 − 2×10.0)) =0.635 ≦1.0 OK
	WD35J	956.6／10.5			200		1.2×490×956.6 ／ (2×10.5×230.(200 − 2×10.5)) =0.651 ≦1.0 OK
	WD38J	1140.／12.5					1.2×490×1140. ／ (2×12.5×230.(200 − 2×12.5)) =0.667 ≦1.0 OK
	WD41J	1340.／13.0			220		1.2×490×1340. ／ (2×13.0×230.(220 − 2×13.0)) =0.680 ≦1.0 OK
	WD32J	794.2／10		2	150	282	1.2×490×794.2 ／ (2×10.0×282.(150 − 2×10.0)) =0.637 ≦1.0 OK
	WD35J	956.6／10.5			180		1.2×490×956.6 ／ (2×10.5×282.(180 − 2×10.5)) =0.598 ≦1.0 OK
	WD38J	1140.／12.5					1.2×490×1140. ／ (2×12.5×282.(180 − 2×12.5)) =0.614 ≦1.0 OK
	WD41J	1340.／13.0			190		1.2×490×1340. ／ (2×13.0×282.(190 − 2×13.0)) =0.656 ≦1.0 OK

2）偏心曲げモーメントに対する支圧抵抗

開先付き異形棒鋼軸心と鋼板板厚中心との偏心により発生する曲げモーメントは、基礎コンクリートの支圧(図 4.1)により処理される。コンクリートによる支圧抵抗が偏心により生じる曲げモーメントを上回ることを(4.3) 式により確認する。

$$Me \leq fc' \times Z_c \qquad (4.3)$$

ここに、Me ：偏心曲げモーメント(＝$N \times e$)（N mm ）



N ：開先付き異形棒鋼に作用する引張力（N）

e ：鋼管板厚中心と開先付き異形棒鋼軸との偏心距離（mm）

fc' ：短期許容支圧応力度(＝$\frac{2Fc}{3} \times 2$)（N／mm²）

Fc ：コンクリート設計基準強度（N／mm²）

Z_c ：支圧部の断面係数（mm³）。支圧幅Ｂと支圧長さＤの矩形断面の支圧応力度の分布が左図となる場合の断面係数（＝1.375×Ｂ×Ｄ²/6）

D ：溶接部の支圧長さ（＝溶接長＋2×鋼管厚さ）（mm）

B ：支圧幅（＝開先付き異形棒鋼の幅＋2×鋼管厚さ）（mm）

図 4.1 コンクリートの支圧反力分布

開先付き異形棒鋼の適用範囲（標準溶接長）内であれば偏心曲げモーメントに対し、以下の通り支圧抵抗モーメントが上回る。

標準溶接長の場合の計算例

開先付き異形棒鋼			Fc/許容支圧	鋼管厚さ	支圧部			偏心モーメント		支圧抵抗モーメント
種別	呼び名	N（10³）			B	D	Zc(10³)	e	Me（10³）	Zc×σc‘
WSD390	WD32J	309.7	21.0/28.0	6.0	44.0	152.	233.0	19.0	5885.0	≦6524. Ok
	WD35J	373.1		7.0	49.0	174.	340.0	21.0	7834.6	≦9519. OK
	WD38J	444.6		8.0	54.0	176.	383.3	23.0	10225.8	≦10732. OK
WSD490	WD32J	389.2	24.0/32.0	8.0	48.0	166.	303.1	20.0	7783.2	≦9699. OK
	WD35J	468.7		8.0	51.0	196.	449.0	21.5	10077.8	≦14367. OK
	WD38J	558.6		8.0	54.0	196.	475.4	23.0	12847.8	≦15213. OK
	WD41J	656.6		9.0	59.0	208	585.0	25.0	16415.0	≦18720. OK

3）鋼板最小板厚の設定

1）許容応力度設計

鋼板の最小板厚 t は、(4.4) 式に従い、鋼板の有効幅から求まる短期許容引張力が、開先付き異形棒鋼の短期許容引張力と同等以上になるように設定する。

$$\sigma 1 \times As = be \times t \times Fy \qquad (4.4)$$

$$be = 2 \times L1 \times \tan 30° + b$$

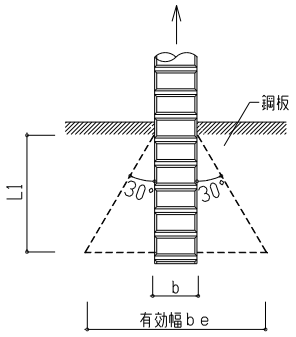


図 4.2 鋼板の有効幅

σ1 ：開先付き異形棒鋼の短期許容引張応力度（N／㎜²）

As ：開先付き異形棒鋼の断面積（㎜²）

Fy ：鋼板の降伏強さ（N／㎜²）

be ：鋼板の有効幅(㎜)

t ：鋼板板厚(㎜)

L1 ：有効溶接長（$L-2a$）(㎜)

L ：溶接長（㎜）

a ：J 開先の有効のど厚（㎜）

b ：開先付き異形棒鋼の幅(㎜)

図 4.2 の有効幅 be は、日本建築学会「鋼構造接合部設計指針」2006 年改定の高力ボルト摩擦接合による、ブレース接合部の耐力の算定におけるガセットプレートの有効幅の求め方に準じている。

$$\text{最小板厚：}\ t\min = \frac{\sigma 1 \times As}{\left(2 \times L1 \times \tan 30^{\circ} + b\right) Fy}$$

標準溶接長の場合の計算例（許容応力度設計）

開先付き異形棒鋼			棒鋼幅／のど厚	鋼種／降伏点	溶接長／有効溶接長	最小板厚
種別	呼び名	断面積				
WSD390	WD32J	794.2	32／10	1／235	140／120	390×794.2／((2×120× tan30° ＋32) ×235)＝7.73 →8 mm
	WD35J	956.6	35／10.5		160／139	390×956.6／((2×139× tan30° ＋35) ×235)＝8.12 →9 mm
	WD38J	1140.	38／12.5		160／135	390×1140.／((2×135×tan30° +38)×235)＝9.75 →10mm
	WD32J	794.2	32／10	2／325	140／120	390×794.2／((2×120× tan30° ＋32) ×325)＝5.59 →6 mm
	WD35J	956.6	35／10.5		160／139	390×956.6／((2×139× tan30° ＋35)×325)＝5.87 →7 mm
	WD38J	1140.	38／12.5		160／135	390×1140.／((2×135×tan30° +38)×325)＝7.06 →8mm
WSD490	WD32J	794.2	32／10	1／235	180／160	490×794.2／((2×160× tan30° ＋32) ×235)＝7.64 →8 mm
	WD35J	956.6	35／10.5		200／179	490×956.6／((2×179× tan30° ＋35) ×235)＝8.26 →9 mm
	WD38J	1140.	38／12.5		200／175	490×1140.／((2×175×tan30° ＋38)×235)＝9.90 →10mm
	WD41J	1340.	41／13		220／194	490×1340.／((2×194×tan30° ＋41)×235)＝10.5 →11mm
	WD32J	794.2	32／10	2／325	150／130	490×794.2／((2×130× tan30° ＋32) ×325)＝6.58 →8 mm
	WD35J	956.6	35／10.5		180／159	490×956.6／((2×159× tan30° ＋35)×325)＝6.60 →8 mm
	WD38J	1140.	38／12.5		180／155	490×1140.／((2×155×tan30° ＋38)×325)＝7.92 →8mm
	WD41J	1340.	41／13		190／164	490×1340.／((2×164×tan30° ＋41)×325)＝8.77 →9mm

2）終局強度設計

許容応力度設計で求めた鋼板の最小板厚ｔは、（4.5）式に従い、開先付き異形棒鋼の鋼板 への接合が保有耐力接合の条件を満たすことを確認する。

$$\frac{1.2\times {}_J F\times As}{\min\left\{{}_J N_{u1},{}_J N_{u2}\right\}}\leq 1.0 \qquad (4.5)$$

$${}_J N_{u1}=be\times t\times {}_P Fu \quad 、be=2\times L1\times \tan 30^\circ+b$$

$${}_J N_{u2}=\left(b+\frac{2}{\sqrt{3}}L1\right)t\times {}_P Fu$$

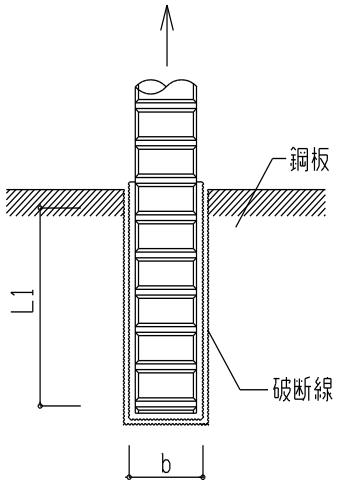


図 4.3　なかぬけ破断

なお、$\tan 30^\circ=\frac{1}{\sqrt{3}}$ であるため、 ${}_J N_{u1}={}_J N_{u2}$ となる。

ここに、${}_J F$ ：開先付き異形棒鋼の基準強度（N／㎜²）

${}_P Fu$ ：鋼板の引張強さ（N／㎜²）

${}_J N_{u1}$ ：許容応力度設計で用いた 30 度勾配線による有効断面積の引張り強さ（N／㎜²）

${}_J N_{u2}$ ：なかぬけ破断による有効断面積の引張り強さ（N／㎜²）

${}_J N_{u2}$は、図 4.3 の破断線における局所的なちぎれ破断のうちの、なかぬけ破断の計算式であるが、日本建築学会「鋼構造接合部設計指針」2006 年改定の計算式の括弧内第 2 項を修正したものである。

標準溶接長の場合の計算例（保有耐力接合）

開先付き異形棒鋼			最小板厚	鋼種／引張強さ	有効溶接長	安全性検証
種別	呼び名	断面積				
WSD390	WD32J	794.2	8	1／400	120	1.2×390×794.2／((2×120× tan30°　+32) ×8×400)=0.68≦1.0　OK
	WD35J	956.6	9		139	1.2×390×956.6／((2×139× tan30°　+35) ×9×400)=0.64≦1.0　OK
	WD38J	1140.	10		135	1.2×390×1140.／((2×135×tan30°　+38)×10×400)=0.69≦1.0　OK
	WD32J	794.2	6	2／490	120	1.2×390×794.2／((2×120× tan30°　+32) ×6×490)=0.74≦1.0　OK
	WD35J	956.6	7		139	1.2×390×956.6／((2×139× tan30°　+35)×7×490)=0.67≦1.0　OK
	WD38J	1140.	8		135	1.2×390×1140.／((2×135×tan30°　+38)×8×490)=0.70≦1.0　OK
WSD490	WD32J	794.2	8	1／400	160	1.2×490×794.2／((2×160× tan30°　+32) ×8×400)=0.67≦1.0　OK
	WD35J	956.6	9		179	1.2×490×956.6／((2×179× tan30°　+35) ×9×400)=0.65≦1.0　OK
	WD38J	1140.	10		175	1.2×490×1140.／((2×175×tan30°　+38)×10×400)=0.70≦1.0　OK
	WD41J	1340.	11		194	1.2×490×1340.／((2×194×tan30°　+41)×11×400)=0.68≦1.0　OK
	WD32J	794.2	8	2／490	130	1.2×490×794.2／((2×130× tan30°　+32) ×8×490)=0.65≦1.0　OK
	WD35J	956.6	8		159	1.2×490×956.6／((2×159× tan30°　+35) ×8×490)=0.66≦1.0　OK
	WD38J	1140.	8		155	1.2×490×1140.／((2×155×tan30°　+38)×8×490)=0.79≦1.0　OK
	WD41J	1340.	9		164	1.2×490×1340.／((2×164×tan30°　+41)×9×490)=0.78≦1.0　OK

4.2 杭頭部の詳細設計

4.2.1　杭頭部の構成

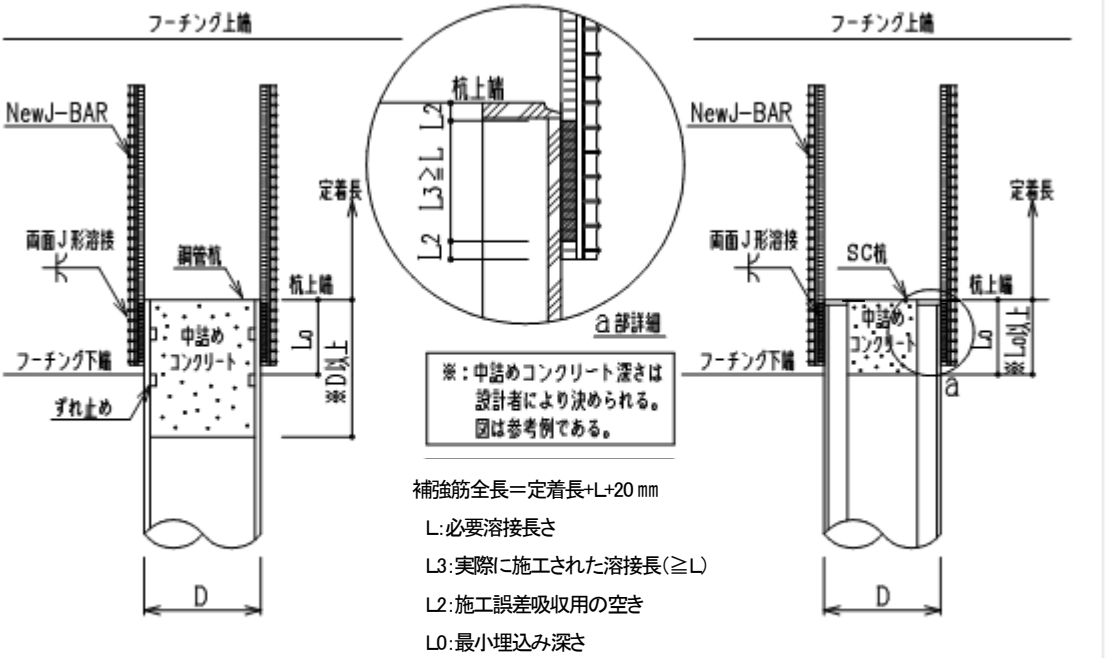
開先付き異形棒鋼を用いる杭頭部は、図4.4に示す構成を標準とする。

1）杭頭部には、作用する軸方向力および曲げモーメントに対し有効に力を伝達できるように、ＳＣ杭や鋼管杭の場合はフーチングと同じコンクリート強度の中詰めコンクリートを打設する。鋼管杭の場合は、中詰めコンクリートと鋼管とのずれ防止の処置を行ない中詰めコンクリートを杭径D以上打設することを推奨する。SC杭の場合には中詰めコンクリートの深さは設計者判断に委ねるが、フーチング下端を推奨する。図4.4の中詰めコンクリートの深さは参考例である。ただし、中詰めコンクリート内に補強筋を配置する場合は、中詰めコンクリートの深さを杭頂部より補強筋定着長さ35ｄ以上（SD390またはWSD390の場合）、42ｄ以上（SD490またはWSD490の場合）に200㎜を加えた寸法以上とする。

2）開先付き異形棒鋼を杭頭部に設置する場合は、異形棒鋼が鋼管に接触する長さは溶接長の上下に 10 ㎜以下の施工誤差吸収用の寸法を見込むとともに、異形棒鋼の下部に基礎フーチング下端までの最小60ｍｍの隙間を確保する。したがって、杭の基礎フーチングへの埋め込み深さは表4.3に示す寸法以上となる。

表4.3　開先付き異形棒鋼により補強する杭の基礎フーチングへの埋め込み深さ　L_0

開先付き異形棒鋼呼び名	開先付き異形棒鋼種別　WSD390		開先付き異形棒鋼種別　WSD490	
	杭の標準埋め込み深さL_0 ㎜			
	SKK400 等鋼種 1	SKK490 等鋼種 2 および鋼種 3～6	SKK400 等鋼種 1	SKK490 等鋼種 2 および鋼種 3～7
WD32J	220		260	230
WD35J	240		280	260
WD38J				
WD41J	―		300	270



鋼管杭　　外殻鋼管コンクリート杭（ＳＣ杭）

図4.4　杭頭部構成図

【解説】１）鋼管杭やＳＣ杭の中詰めコンクリート深さとずれ止め

鋼管杭の杭頭部に圧縮力が作用する場合、開先付き異形棒鋼や鋼管上縁を介して杭に力が伝わる要素もあるが、中詰めコンクリートがあると力の伝達がスムーズとなる。そのため鋼管杭の杭頭部には、杭径D以上の深さまで中詰めコンクリートを打設することを推奨している。なお、鋼管杭の中詰めコンクリートと鋼管のずれ抵抗は、付着力および摩擦抵抗なども存在するが、ずれ止めを設けることで飛躍的に増大する。ずれ止めによる抵抗力はその上縁に生じる支圧抵抗であるが、鋼管で拘束されたコンクリートの特性として、通常の支圧抵抗の 4～5 倍の能力が発揮されることが知られている。

また SC 杭については杭頭補強の計算例は日本建築学会「建築基礎構造設計例集」に記載されている、そこでは中詰めコンクリートの有無及び深さに関わらず、円形断面（充実断面）として計算している。そのため中詰めコンクリートの深さに関しては設計者判断に委ねるが、フーチング下端を推奨する。

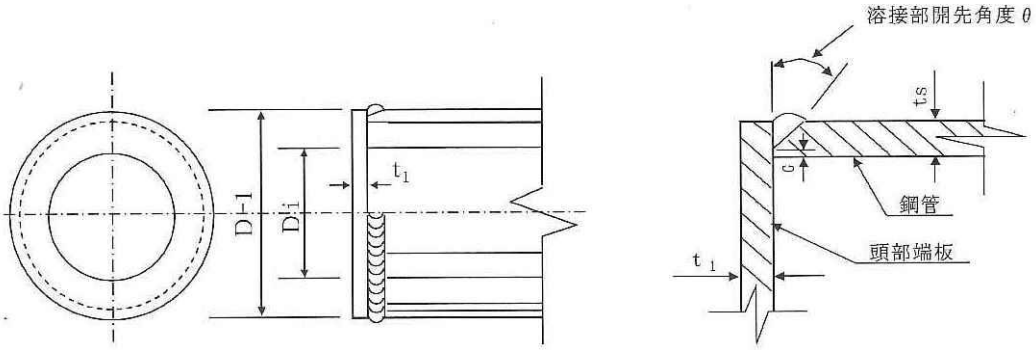
２）補強筋を中詰めコンクリート中に設置する場合の中詰めの深さ

杭の中詰めコンクリート中の補強筋も基礎フーチング内と同様に所定の定着長が必要である。したがって補強筋を中詰めコンクリート中に設置する場合の中詰めの深さは、補強筋の定着長さ（4.2.3 にしめすように SD390 または WSD390 材の場合 35ｄ以上、SD490 または WSD490 材の場合 42ｄ以上）に 200 ㎜を加えた寸法以上とする必要がある。

３）ＳＣ杭端板と施工誤差吸収用の空き 10 ㎜との関係

ＳＣ杭は下部および上部も 16～22 ㎜厚程度の鋼製端板が設けられている。杭メーカにより端板は上部下部ともＳＣ杭継手用の端板が採用されているものと、下部は継手用端板、上部は杭頭用端板が設けられているものに分かれる。その場合、継手用端板は杭鋼管とは全強突合せ溶接がなされ、杭頭用端板は杭鋼管とは突合せ部分溶け込みがなされる場合が多い。

杭頭部に溶接施工誤差吸収用の空きを 10 ㎜と設定した場合、実際の施工がその空きが 0 に近い寸法となり、溶接長さにおけるのど厚に相当する余長部分（10～13 ㎜）および有効溶接長の一部が杭頭の端板厚さにかぶる場合が生じるが、端板と杭鋼管の溶接継手により力が伝達できるので、支障ないものとしている。補強筋の接合部の長さは有効溶接長＋のど厚×2 が溶接部で、これに施工誤差吸収用の空き（10 ㎜）×2 を加えたものとして、その開始点は杭上端又は杭端板の上部とする。



頭部端板 取付け図　　頭部端板溶接部詳細図

図 4.5　杭頭部端版の事例

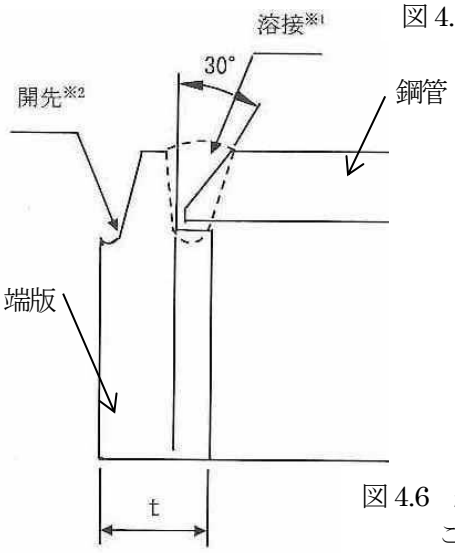


図 4.6　継手用端版の事例

この継手用端版が杭頭部に適用される場合がある

4.2.2　開先付き異形棒鋼の配列設計

1）鋼管杭など円形の杭に取付ける場合の配列は、原則として開先付き異形棒鋼（補強筋）を杭の円周方向に均等間隔にて配列する。

2）杭１本に配列する補強筋は原則として８本以上とする。ただし、補強筋の配置位置を考慮し最小のM-N値を求める手法により抵抗値を算定する場合は、８本未満かつ４本以上の本数とすることができる。

3）開先付き異形棒鋼の配列において、鉄筋の最小間隔（芯中心間隔）は2.7d(**dは鉄筋の呼び径**)以上とするが、溶接作業の施工性、基礎等の配筋との干渉などを考慮することにより、それ相応の間隔を確保する必要がある。実際の杭頭部は柱主筋、基礎底面配筋、基礎梁主筋及びS造の場合はアンカーフレーム等が存在している。補強筋の配列設計は、設計段階で干渉する可能性があるこれらの配筋等を含めて総合的に調整の上、行うものとする。

最小間隔推奨値（配筋施工が可能であることを保証する数値ではありません）
WD32J:120mm 以上、WD35J:125mm 以上、WD38J:130mm 以上, WD41J:135mm

【 解説】

１）均等、不均等間隔配置

杭頭接合部の補強筋算定は通常補強筋の間隔が均等に配置されている仮定で抵抗値を計算している。そのためできるだけ均等に配置する。なお施工段階で不均等配置が生じた場合には、設計者が安全性の検討を行う。これは設計段階で既に回避されているべき問題である。

不均等配置は計算上加力方向により断面の諸係数が変わること、及び許容応力度計算、終局計算では図心位置が移動する為、基準軸が変わる等の問題がある。㈱ブレイブとしてはこれに対処できる態勢にはない。時として不均等配置が生じた場合には、均等配置に近いと思われる下記の簡易的な対処方法が考えられる。

1. 杭の水平断面を中心に対して４等分して各辺に同数程度の補強筋が配置された場合。
2. 杭の円周上の鉄筋間隔が最も長い間隔をL1として杭の円周をL1で割って出た数値を均等配置本数として計算する。これで曲げモーメントが足りない場合にはL1の中に鉄筋１本を追加し、次のL2から同じようにこれを繰り返して設計曲げモーメントに近づける。

２）補強筋の最小本数

通常杭頭接合部のM-N抵抗値算定は補強筋を円環と仮定し行っている。この仮定では、補強筋本数が８本未満となると実際の抵抗値との誤差が無視しえないものとなるため、日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」は、細則として円形断面柱の主筋本数は８本以上と規定されている。そのため本設計マニュアルにおいても補強筋の最小本数は８本以上とすることを原則としている。

ただし、上記の円環の仮定ではなく、補強筋の配置位置を認識・考慮した算定手法によれば、水平力の方向毎の抵抗値が定まるので、その最小の抵抗値をもって設計抵抗値とする計算が行われた場合は、上記原則によらず、４本以上８本未満の補強筋本数とすることができる。

３）補強筋最小間隔と基礎梁主筋、柱主筋等との干渉防止

補強筋のコンクリートとの付着性能とコンクリート打設時の流動性を確保するための最小間隔は、日本建築学会「鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説」にも規定があるが、2.7d(d は鉄筋の呼び名に用いた数値)以上が必要である。一方、鋼板に溶接する場合には溶接棒が隣接する補強筋との干渉を避けるための最小間隔も必要である。この最小間隔は溶接棒が鋼板となす角度を 20°確保することを前提とすると、溶接作業間隔最小値は、WD32J:100mm、WD35J:105mm、WD38J:110mm、WD41J:120mm となる。

基礎梁主筋、柱主筋、アンカーフレーム等との干渉が予想される場合には、設計段階で補強筋の高強度化、補強筋径の大型化及び補強筋が基礎コンクリート強度Fcで決まっている場合にはFcを上げる等の措置をとり、補強筋本数を極力減らすことが干渉防止に有効である。

補強筋が基礎梁主筋と干渉する場合は、基礎梁の下端主筋の配列は梁せいが大きいため２段配筋や場合によっては３段配筋が許容され配筋間隔を広くすることが有効である。

また補強筋が柱主筋と干渉する場合は、基本的に杭径と柱サイズの近接が干渉を引き起こすことがある。それには補強筋と干渉する方向に対して基礎梁せい間のみの柱サイズを補強筋との干渉をかわす位置まで、かつ柱配筋に無理がない位置まで広げることが有効である。

4.2.3　開先付き異形棒鋼の定着長さ

開先付き異形棒鋼の定着長さは「2.2　開先付き異形棒鋼の規格」に示す 35d タイプおよび 42d タイプがあり、通常は標準サイズとして WSD390 の場合 35d タイプ、WSD490 の場合 42d タイプを使用する。

開先付き異形棒鋼の定着長さの標準値は、日本建築学会「RC 規準 2018 年版」による(17.2)式の必要直線定着長さL_{ab}を満たすように決めている。なお、定着長は 4.2.4 項に対する対処や、基礎フーチングコンクリート設計基準強度の(4.6)式適用に応じて、設計者の判断により自在に設定できる。

$$Lab = \alpha \times S \times \sigma 1 \times db / (10 \times fb) \qquad (4.6)$$

ここで　α：横補強筋で拘束されたコア内に定着する場合 1.0、その他 1.25
S：定着部位に応じた修正係数で 1.25
σ1：異形棒鋼の短期許容応力度(N／mm^2)
db：異形棒鋼の呼び名に用いた数値（mm）
fb：付着割裂の規準となる強度で、fb=Fc/40+0.9　N／mm^2
Fc は基礎フーチングのコンクリート設計基準強度

【解説】

学会「RC 規準（2018 年版）」第 17 条定着の解説によれば、定着の破壊は①コンクリートの支圧（割裂）破壊と、②掻出し破壊に分類され、①については規準中に(17.2)式により検証し、②については十分なのみ込み長さを確保し付着応力度が長さ方向に一様に分布するとの考え方で検証することになっている。

②の考え方によれば、定着長は下記式となる。

$$L_{ab} = \sigma 1 \times As / (fa \times \phi)$$

ここに、σ1：開先付き異形棒鋼の存在応力度（N／mm^2）、短期許容応力度の数値を採用する
As：開先付き異形棒鋼の断面積（mm^2）
fa：短期許容付着応力度（N／mm^2）
φ：開先付き異形棒鋼の周長（mm）

開先付き異形棒鋼 WSD390 と WSD490 を上式に適用すれば、必要定着長は

種別	呼び名	コンクリート		定着長
		基準強度	fa	
WSD390	WD32J	Fc 21	3.15	390×794.2/3.15/100＝983 mm（＝30.7d）
	WD35J			390×956.6/3.15/110＝1077 mm（＝30.8d）
	WD38J			390×1140/3.15/120＝1176 mm（＝31.0d）
WSD490	WD32J	Fc 24	3.46	490×794.2/3.46/100＝1125 mm（＝35.16d）
	WD35J			490×956.6/3.46/110＝1232 mm（＝35.2d）
	WD38J			490×1140/3.46/120＝1346 mm（＝35.43d）
	WD41J			490×1340/3.46/130＝1460 mm（＝35.61d）

となり、WSD390 の場合 32ｄ、WSD490 の場合 36ｄの定着長があれば、抜け出しが生じないということになる。

なお、通常の柱梁接合部の場合の定着の場合と同様に、①の付着割裂破壊のおそれがあると考えると、(4.5)式により必要定着長は、

種別	呼び名	コンクリート		定着長
		基準強度	fb	
WSD390	WD32J	Fc 21	1.425	1.0×1.25×390×32/10/1.425＝1095 ㎜（＝34.2d）
	WD35J			1.0×1.25×390×35/10/1.425＝1197 ㎜（＝34.2d）
	WD38J			1.0×1.25×390×38/10/1.425＝1300 ㎜（＝34.2d）
WSD490	WD32J	Fc 24	1.50	1.0×1.25×490×32/10/1.5＝1307 ㎜（＝40.8d）
	WD35J			1.0×1.25×490×35/10/1.50＝1429 ㎜（＝40.8d）
	WD38J			1.0×1.25×490×38/10/1.50＝1552 ㎜（＝40.8d）
	WD41J			1.0×1.25×490×41/10/1.50＝1674 ㎜（＝40.8d）

となる。

本設計マニュアルは、基礎フーチングといえども付着割裂のおそれがあるとみなした（4.6）式を採用することとし、標準定着長さはWSD390材の場合35ｄ、WSD490材の場合42ｄと定めた。なお、4.2.4項の太径杭と基礎梁との接合部に対する配慮や設計者のその他の判断によりこの標準定着長より長い定着長さや、基礎フーチングのコンクリート設計基準強度が大きい場合の（4.6）式適用による下表の定着長を選択することを妨げるものではない。

（4.6）式適用による最小限定着長

補強筋種別	コンクリート設計基準強度						
	Fc 21	Fc 24	Fc 27	Fc 30	Fc 33	Fc 36	Fc 39
WSD390	35d	33d	31d	30d	29d	28d	26d
WSD490	－	41d	39d	38d	36d	35d	33d

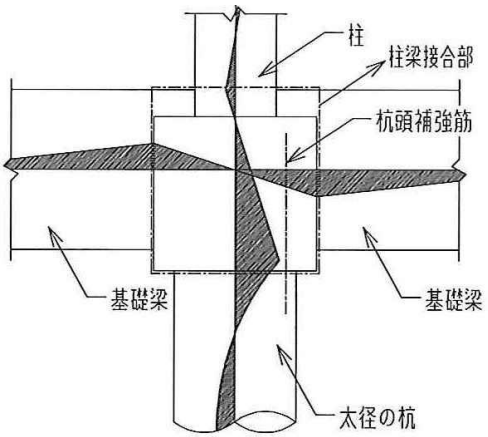
4.2.4　杭頭補強筋が基礎梁との関係で柱梁接合部を形成する場合の配慮

直径が 1.5m以上の太径の外殻鋼管場所打ち杭に杭頭補強筋を用いる場合、基礎フーチング部が杭と基礎梁との接合部の役割を果たす必要がある。この場合は基礎フーチングがせん断破壊を起こさない大きさを確保するとともに、杭頭補強筋も柱梁接合部としての高さをカバーし得る長さを確保する配慮を行う。

【解説】

杭頭部には地震時に大きな曲げモーメントが発生する。その曲げモーメントは杭と直接連結された上部構造の基礎梁や最下部柱の柱脚に伝達し節点周りの曲げモーメントの総計が零となって閉じる。

柱直下の杭が地震力の方向に複数本存在する場合は、部材剛性の関係で基礎フーチングに大きな曲げモーメントが発生する。この場合は、基礎フーチングには相応の応力に対して補強筋が必要なことはいうまでもない。杭が１本の場合は杭頭に発生した曲げモーメントの大部分は基礎梁が分担することになる。この場合は、基礎フーチングが杭と基礎梁の柱梁接合部の役割を担うことになる。



基礎フーチングが杭と基礎との柱梁接合部の機能を果たすためには、図4.9に示すように基礎フーチングは基礎梁のせいとほぼ同じ大きさのデプスが必要で、杭の補強筋も単なる定着筋としての長さではなく柱梁接合部の縦筋としてフーチングの上端付近まで延長されている必要がある。標準定着長を超えて延長が必要な補強筋量（フーチング周囲の籠筋との合算値）は柱梁接合部の縦方向の曲げモーメント分布に応じた量が妥当と考えられる。

柱梁接合部となる基礎フーチングには、大きなせん断力が発生することになるが、ひび割れ防止筋を配置し、せん断力に対してコンクリート断面積で抵抗できる大きさを確保することが望ましい。

図4.9　柱梁接合部としての基礎フーチングと杭頭補強筋

4.2.5　開先付き異形棒鋼の曲げ加工

1）開先付き異形棒鋼は通常折曲げ加工をせずに使用し、やむを得ず折曲げ加工を施す場合は両サイドのリブを結んだ線と並行する軸線を回転軸とする折曲げ加工とすることを原則とする。

2）補強筋最上部のフックの場合、曲げ内法直径はWSD390材（180°フック）の場合補強筋公称直径dの5倍、WSD490材（90°フック）の場合6倍以上とする。

3）補強筋定着長の途中で折曲げる場合、折曲げは1/6以内の勾配とし、補強筋折曲げ部にコンクリートを破砕および補強筋溶接部を引き剥がすような分力成分が作用しないように適切な補強を施すこととする。

【解説】

1）　折曲げる方向

折曲げは通常工場にてベンダーを用いて折曲げ加工が行われる。開先付き異形棒鋼はJIS異形棒鋼も同様であるが、棒鋼表面軸線方向の両端にリブが成形されており、そのリブを結ぶ軸と並行する軸線以外は曲がり難い性質があるとともに、それ以外の方向に曲げた場合は杭鋼管と溶接用の開先が安定しない性状を示すことから、折曲げの方向を限定したものである。

2）　最上部フックの折曲げの形状および直線部長さ

最上部のフック状の折曲げ角度「WSD390材が180°以下、WSD490材が90°以下」は、開先付き異形棒鋼の製造規格による制約を示す。

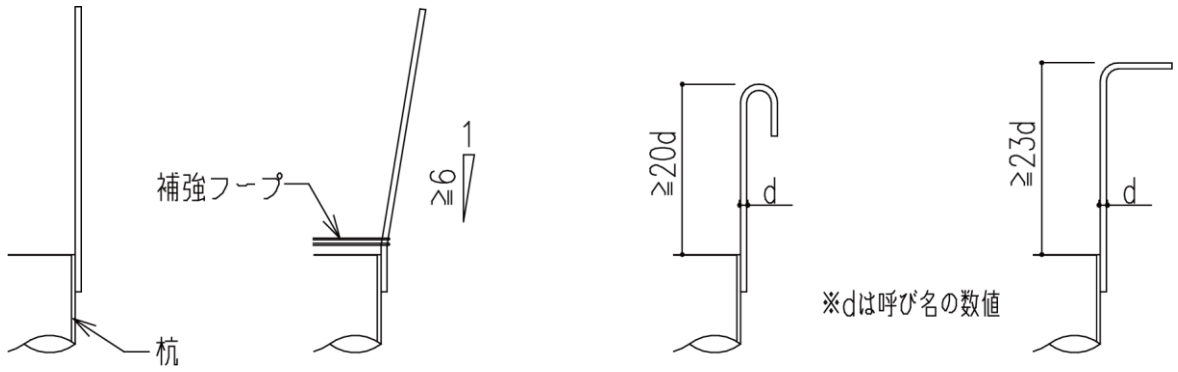
最上部にフックを設けた場合の直線部長さは「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」または「建築工事標準仕様書JASS5　鉄筋コンクリート工事(2018)」等に従い、構造計算上適切な長さを確保することとする。図4.10のフック付き投影定着長さはWSD390ではFc21、WSD490ではFc24を用いてRC規準2018年度版17条定着（17.2）式から計算した限界値であり、柱と基礎梁との接合部形成のため余裕度の設定は設計者判断で行う。

また、曲げ加工を行う場合に使用する駒の大きさにより投影定着長がわずかに増加する場合があることにある。

3）　補強筋の定着長さの途中で折曲げる場合

折曲げの位置は、杭との溶接に支障がない範囲と、定着筋としての機能を果たす上で支障がない範囲に限定することを原則とする。特に杭頭部近傍では折曲げ加工中心部は杭頭上面より以下の寸法(H)を確保し、溶接部に曲げ加工部が重ならないよう配慮を行う。

H≧80＋2×ｄ1（ベース筋の公称直径）㎜



a）直線定着　　b）杭頭折曲げ　　c）WSD390 頭部フック　　d）WSD490 頭部直角折曲げ

図 4.10　開先付き異形棒鋼補強筋の設置状況

4）　途中で折曲げる場合の勾配と折曲げ補強対策

補強筋は、定着部の途中で折曲げると引張力作用時に補強筋が直線に戻ろうとして折曲げ部に大きな分力が働く。補強筋の応力度が短期許容引張応力度近傍のレベルに達する部位で折曲げられた場合、折曲げの勾配が 1/6 を超えるとこの分力（T1）によって生じる図 4.11 に示す支圧応力（P）にコンクリートが耐えられない状況となる。それ故に折曲げの勾配は 1/6 以下とすることが原則となっている。

特に、杭頭部直上で折曲げを行うと、折曲げに伴う分力が、補強筋溶接部を引き剥がす力となるので、図 4.11 に示すように補強対策が必要になる。下記にその補強対策例を記す。なお、T_0の値は杭頭直上の場合は$T_0 = A_t \times \sigma_1$　（A_t：補強筋公称断面積、σ_1：補強筋の短期許容引張応力度）であり、折曲げ点が杭頭直上よりも上方の場合は、直線換算定着長と折曲げ点の割合に応じてT_0を低減してよい。

なお、補強筋の軸力（T_0）と折曲げ部に生じる支圧応力（P）および補強筋心の折曲げ部半径（R）には、$T_0 = P \cdot R$の関係が成立する。（参考文献、B1.2 式参照）

参考文献：

日本建築学会「鉄骨鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説(2012)付録Ⅰ-B1　90 度折曲げ定着部の抵抗力」

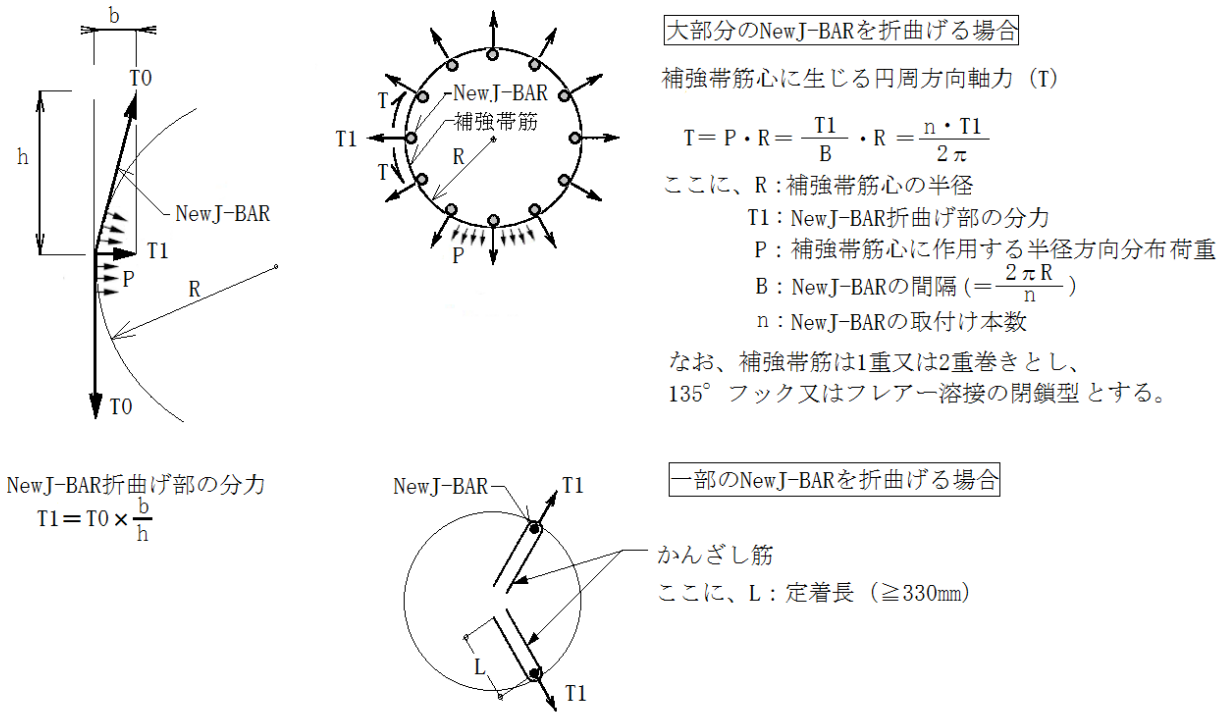


図 4.11 NewJ-BAR 折曲げに伴う補強対策例

【参考計算例】

NewJ-BAR 折曲げ中心位置に施すかんざし筋の一計算例をここに示す。

なお、本計算例の採用にあたっては、設計者が以下の計算仮定および計算内容を確認の上、判断することとする。

1）かんざし筋に作用する分力（T1）は、NewJ-BAR の余長部(L3)に作用する軸力（T0）と図 4.12 の関係があると仮定し、折曲げ勾配（＝b/h）が 1/6 の場合について、式（1）および式（2）に基づき計算する。
なお、余長部(L3)に作用する軸力（T0）は、式（1）に示すように、NewJ-BAR の短期許容引張力から直線部（L0）の付着抵抗力を差引いて求める。

$$T0 = At \cdot \sigma 1 - L0 \cdot fa \cdot \phi J \quad \text{---} \ (1)$$

$$T1 = T0 \times 1/6 \quad \text{---} \ (2)$$

2）かんざし筋は、図 4.13 に示す構成とし、分力（T1）に対して、式（3）に示す短期許容引張力および式（4）に示す短期許容付着力で抵抗できる鉄筋径および定着長さに決定する。（表 4.4　参照）

$$Rt = 2at \cdot ft \quad \text{---} \ (3)$$

$$Rf = 2L \cdot fa \cdot \phi \quad \text{---} \ (4)$$

※短期許容付着力は、学会「RC 規準（2018 年版）」の第 6 条 表 6.3 に示された以下の許容付着応力度式に基づき算定する。
fa≦1.5（Fc/10 かつ（1.35＋Fc/25））

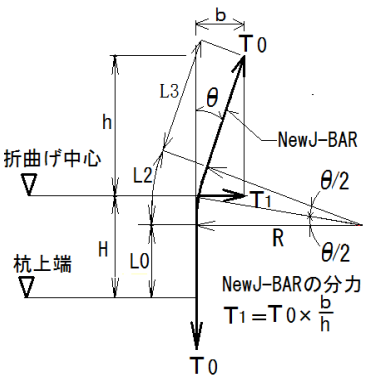


図 4.12 折曲げ部に生じる分力

【記号表】

At：NewJ-BAR1 本当りの公称断面積（mm²）
σ1：NewJ-BAR の短期許容引張応力度（N/mm²）
φJ：NewJ-BAR の公称周長（mm）
at：かんざし筋 1 本当りの公称断面積（mm²）
ft：かんざし筋の短期許容引張応力度（N/mm²）
L：かんざし筋の定着長（≧330mm）
fa：コンクリートの短期許容付着応力度（N/mm²）
Fc：フーチングコンクリートの基準強度（N/mm²）
φ：かんざし筋の公称周長（mm）
R：NewJ-BAR 中心線の折曲げ部半径（mm）
d：NewJ-BAR の公称直径（mm）
d0：かんざし筋の公称直径（mm）
H：杭上端から折曲げ中心までの距離（mm）（＝80＋2×d1（13）＝106 mm）
θ：折曲げ勾配が 1/6 の時の角度（＝ arctan（1/6）＝9.462°）
L0：NewJ-BAR の直線部長さ（mm）（＝H－R・tan（θ/2））
L2：NewJ-BAR の折曲げ部長さ（mm）
h：NewJ-BAR の折曲げ高さ（mm）
b：NewJ-BAR の折曲げ幅（mm）

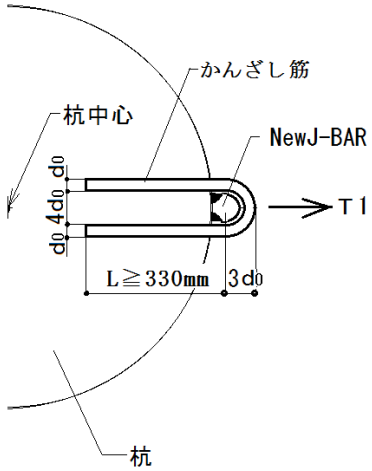


図 4.13 かんざし筋の構成

表 4.4 かんざし筋の仕様および計算結果

NewJ-BAR				かんざし筋		
呼び名	材 種	短期軸力（T0）	分力（T1）	仕様	引張耐力（Rt）	付着耐力（Rf）
WD32J	WSD390	278.5KN	46.4 KN	1-D13	74.9KN	81.9KN
WD35J		338.8KN	56.4 KN	1-D13	74.9KN	81.9KN
WD38J		407.6KN	67.9 KN	1-D13	74.9KN	81.9KN
WD32J	WSD490	355.1KN	59.2 KN	1-D13	74.9KN	90.0KN
WD35J		431.7KN	72.0 KN	1-D16	117.4KN	110.8KN
WD38J		518.5KN	86.5 KN	1-D16	117.4KN	110.8KN
WD41J		613.5KN	102.3 KN	1-D16	117.4KN	110.8KN

備考 1. かんざし筋の種類：D13（SD295）、D16（SD295）
備考 2. かんざし筋の内法直径は、鉄筋径（d0）の 4 倍以上とする。
備考 3. かんざし筋の定着長さは、L≧330mm とする。
備考 4. かんざし筋はベース筋の上に置いて NewJ-BAR の折曲げ中心位置に固定する。従って、杭上端から NewJ-BAR の折曲げ中心までの距離（H）は、以下の寸法を確保する。　H≧80＋2×d1（ベース筋の公称直径）mm
備考 5. フーチングコンクリートの基準強度は、NewJ-BAR の材種に応じて以下となる。　NewJ-BAR WSD390（Fc≧21）、NewJ-BAR WSD490（Fc≧24）

4.3　杭頭部の断面検定

4.3.1　基本仮定と断面検定

1）杭頭結合部の軸方向力と曲げモーメントに対する検定は以下の各項による。

a）「4.2　杭頭部の詳細設計」で示した標準詳細が採用されている場合、杭頭部は開先付き異形棒鋼を主筋とする鉄筋コンクリート円形断面とみなし断面検定できる。

b）仮想円形断面の外径は、鉄筋のかぶりに相当する寸法を見込み、杭径が 250φ以上 500φ未満の場合は杭外径に 20ｃｍ、500φ以上の場合は杭外径に補強筋外径×2+20ｃｍを加えた値とする。

c）仮想円形断面のコンクリート強度はフーチングコンクリートの設計基準強度とする。

2）杭頭結合部のせん断力に対する検定は、杭頭埋込み部の側面におけるフーチングコンクリート支圧抵抗について行うこととする。

【解説】

1）軸方向力と曲げモーメントに対する検定

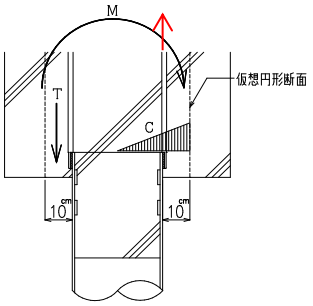


図 4.13　杭頭結合部の曲げ抵抗機構

基礎フーチング内に埋込まれた杭頭の曲げモーメントに対する抵抗機構は、補強筋の引張圧縮抵抗と杭の鉛直方向の支圧抵抗に加え、埋め込みによるいわゆる“だぼ効果”による抵抗がある。埋込みによる抵抗は埋込み深さが杭径D以上あると補強筋がなくとも安全に曲げモーメントを伝達できる能力があるが、浅いとフーチングコンクリートの剥離破壊により急激に剛性と耐力が劣化する押抜きせん断破壊の現象が起こる。杭側方にフーチングのかぶり厚さが確保され杭頭にある程度以上の補強筋を配置すればその剥離破壊は生ぜず補強筋効果とだぼ効果が協働して抵抗することが知られている。

しかしながら、埋め込み深さに応じただぼ効果の定量的な研究もなかったことから、NewJ-BAR グループは数値解析により、NewJ-BAR の標準埋め込み深さの範囲内で、杭側方に一定のフーチング有効かぶり厚さを確保した場合、押抜きせん断破壊が生じずだぼ効果（埋込み効果）を加算できることを数値解析により確認した。この解析には基礎フーチングが杭頭部の断面積よりも大きなマスコンクリートであることよりコンクリート強度上昇が見込まれる条件を加味した。

本マニュアルでは、上記解析結果をもとに、杭頭の埋込み効果を加味した杭頭の M-N 抵抗値を安全な範囲で評価できるフーチング内仮想円形断面径を採用し、従来と同様の仮想円形断面による計算方法とをすることとした。すなわち、埋込み効果は仮想円形断面径を拡大して評価する方法とする。

その方法は、杭頭の補強筋量は、杭頭部の曲げモーメントに対して、引張側は開先付き異形棒鋼が、圧縮側は開先付き異形棒鋼およびフーチングコンクリート（この場合のコンクリートは強度上昇を見込まない）が、それぞれ偶力の成分となり抵抗する仮想鉄筋コンクリート円形断面を仮定して算定する。ここで、仮想円形断面の直径は杭径が 250φ以上 500φ未満の場合杭外径に 20ｃｍを、杭径が 500φ以上の場合杭外径に補強筋径の 2 倍と 20 cmを加えた寸法とし、曲げと軸力の検定を行うものとする（参考文献 1)。杭頭接合部の最近の論文では、文献 2 の研究がある。

文献 1：「建築研究報告Ｎｏ．129　杭頭接合部の力学的挙動に関する研究」杉村義広、平出　務編、建設省建築研究所、September　1990

文献 2：「杭基礎の大変形挙動後における支持力特性に関する共同研究報告書（杭頭結合部に関する研究)」独立行政法人土木研究所、一般社団法人鋼管杭・鋼矢板技術協会、社団法人コンクリートパイル建設技術協会、平成 24 年 3 月

2） せん断力に対する検定

水平力に対する検討は(4.6)式に従い、作用水平力Qがフーチングコンクリートの短期許容支圧応力Ｑａ以下であることを確認する。

$$Qa = D \cdot L \cdot fcc \geqq Q \qquad (4.7)$$

ここに、Ｑａ：短期許容支圧応力　（N）

Ｑ：作用水平力　（N）

Ｄ：杭径　（㎜）

Ｌ：フーチングへの杭頭部の埋込み長（㎜　200㎜以上）

ｆcc：短期許容支圧応力度（N/㎜^{2}　＝2× 2/3Ｆｃ）

終局のせん断抵抗値Quは上式の1.5倍の数値となる。

4.4　設計用計算式

4.4.1 はじめに

日本建築学会編「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」では鉄筋コンクリート円形断面柱は、主筋を等間隔に８本以上配置するものとし、等価な円環に置き換えてM-N値が計算されている。

この方式に基づく鉄筋コンクリート円形断面計算式は円形断面柱だけでなく、基礎フーチング内に定着する杭頭補強筋を主筋とした仮想鉄筋コンクリート断面にも適用されている。

主筋を等間隔に８本以上配置する場合には、日本建築学会編「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づく計算方法、即ち、以下に示す計算式の鉄筋部分を等価な円環に置き換えてM-N値を計算する。(解説参照)

一方、ここに示すNewJ-BARの断面計算は、主筋を等間隔に８本未満の少数を配置する鉄筋コンクリート断面を対象に、主筋群を等価な円環に置き換えるのではなく主筋の配置状況に応じて最小の M-N 値を与える弱軸方向について行うものである。

4.4.2 適用範囲

(1)　基礎フーチング内に定着する杭頭補強筋を主筋とする仮想鉄筋コンクリート断面を対象とする。

(2)　杭径は250 ㎜以上とする。

(3)　主筋は杭１本あたり４本以上とし、杭周囲に均等に配置した断面とする。

4.4.3 許容応力度設計

4.4.3.1 基本仮定および方針

(1)　断面は変形後も平面を保持するものとする。

(2)　断面計算は、引張側がコンクリート断面を無視し主筋断面のみ考慮し、圧縮側がコンクリートとヤング係数比倍した主筋等価断面による有効等価断面として考慮する。

(3)　許容曲げモーメントの計算は、補強筋が 8 本未満の場合は主筋群を等価な円環に置き換えるのではなく、主筋の配置において最小値を与える弱軸方向について行うものとする。

(4)　断面に作用する軸方向力の偏心距離 e は、コンクリート断面のせいの中央より算定する。

4.4.3.2 記号

a_r　:主筋の断面積

D　:コンクリート断面の直径（＝$2r$）

r　:コンクリート断面の半径

r'　:主筋群の半径

d_c　:基準軸上の圧縮縁から圧縮主筋重心までの距離

d_t　:基準軸上の引張縁から引張主筋重心までの距離

θ　:中立軸が横切るコンクリート断面の外周点の角度

α　:鉄筋配列角度

x_n　:曲げ材の圧縮縁から中立軸までの距離（全断面引張の場合には負の値とする。）

m　:主筋の総本数

M　:許容曲げモーメント

N　:許容軸方向力

n　:ヤング係数比

f_c　:コンクリートの許容圧縮応力度

${}_rf_c$　:主筋の許容圧縮応力度

${}_rf_t$　:主筋の許容引張応力度

e　:断面に作用する軸方向力のコンクリート断面のせいの中央より算定した偏心距離

A_e　:鉄筋コンクリート断面の等価断面積

I_g　:重心に関する有効等価断面２次モーメント

σ_0　:中立軸から単位距離のコンクリート圧縮応力度

S_n　:中立軸に関する有効等価断面１次モーメント

I_n　:中立軸に関する有効等価断面２次モーメント

4.4.3.3 許容応力度式（補強筋が８本未満の場合）

1)　中立軸位置 x_n は以下の式で決定できる。

図4.5で軸方向の力のつりあいから、

$$P = \int (\sigma_0 y) \cdot dA_c + \sum (n\sigma_0 y) \cdot a \qquad (1)$$

中立軸に関するモーメントのつりあいから、

$$P(x_n - D/2 + e) = \int (\sigma_0 y \cdot dAc) y + \sum (n\sigma_0 \cdot y \cdot a) \cdot y \qquad (2)$$

ここで、

$S_n = \int y dA_c + \sum n \cdot y \cdot a$　：中立軸に関する有効等価断面の１次モーメント

$I_n = \int y^2 dA_c + \sum n \cdot y^2 \cdot a$　：中立軸に関する有効等価断面の２次モーメント

であるから、(1)式は

$$P = \sigma_0 \cdot Sn \qquad (3)$$

また(2)式は

$$P(x_n - D/2 + e) = \sigma_0 \cdot I_n \qquad (4)$$

(3)/(4)より

$$x_n - D/2 + e = I_n / S_n \qquad (5)$$

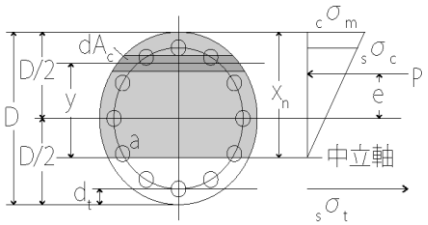


図 4. 14

2) 中立軸周りの断面 1 次モーメント S_n および断面 2 次モーメント I_n は下の各項による。(図 4. 14 参照)

1) 断面の一部に引張り応力が生じる場合

$$S_n = r^3\left\{\frac{\sin\theta}{3}\left(2+\cos^2\theta\right) - \theta\cos\theta\right\} + \sum_{i=1}^{m} n \cdot a_r \left\{r'\cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{m}(i-1)\right) - r\cos\theta\right\} \qquad (6)$$

$$I_n = r^4\left\{\theta\left(\frac{1}{4}+\cos^2\theta\right) - \sin\theta\cos\theta\left(\frac{13}{12}+\frac{1}{6}\cos^2\theta\right)\right\} + \sum_{i=1}^{m} n \cdot a_r \left\{r'\cos\left(\alpha + \frac{2\pi}{m}(i-1)\right) - r\cos\theta\right\}^2 \qquad (7)$$

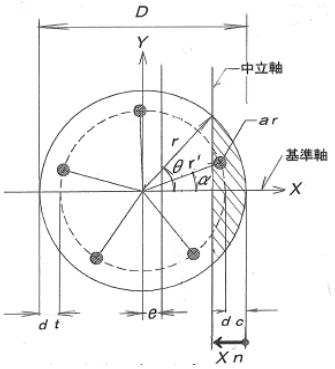


図 4. 15

2) 断面内に引張り応力が生じない場合

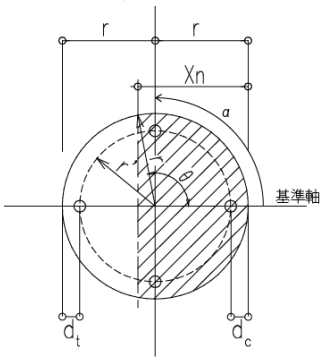
$$\left.\begin{aligned} S_n &= A_e(x_n - r) \\ I_n &= I_g + A_e(x_n - r)^2 \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

$$\left.\begin{aligned} A_e &= \pi r^2 + n \cdot m \cdot a_r \\ I_g &= \frac{1}{4}\pi r^4 + \frac{1}{2} n \cdot m \cdot a_r \cdot r'^2 \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

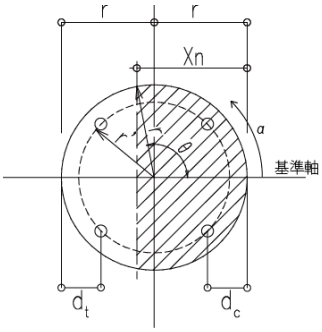
3) 断面内に圧縮応力が生じない場合

$$\left.\begin{aligned} S_n &= A_e(x_n - r) \\ I_n &= I_g + A_e(x_n - r)^2 \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

$$\left.\begin{aligned} A_e &= n \cdot m \cdot a_r \\ I_g &= \frac{1}{2} n \cdot m \cdot a_r \cdot r'^2 \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$



主筋が 4 本の場合の弱軸方向



主筋が 4 本の場合の強軸方向

図 4. 16

3) 軸方向力および許容曲げモーメント

1) 軸方向力Nに応じた許容曲げモーメントMは次式による。

$$M = \left(\frac{I_n}{S_n} - x_n + \frac{D}{2}\right)N \qquad (12)$$

2) 偏心荷重をうける断面の許容軸方向力Nは、(13)式のうち、いずれか小さいほうによる。

$$\left.\begin{aligned} N_1 &= \frac{S_n}{x_n} \cdot f_c \\ N_2 &= \frac{S_n}{n(x_n - d_c)} \cdot {}_r f_c \\ N_3 &= \frac{S_n}{n(D - d_t - x_n)} \cdot {}_r f_t \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

4) 弱軸方向について

主筋の配置において許容軸方向力および曲げモーメントの最小値を与える弱軸方向は、式 (13) に示す通り、曲げの回転軸と 90° をなす軸を基準軸とすれば、特定の主筋が外縁からの距離 d_c 及び d_t が最も小さくなる方向、即ち、引張及び圧縮鉄筋の重心が基準軸上にある方向になる。

主筋が 4 本の場合について弱軸方向および強軸方向を図 4. 16 に例として示す。

4.4.4 終局強度設計

4.4.4.1 基本仮定および方針

(1) 終局曲げモーメント計算のモデル化及び解析方法は下記とする。

・主筋が８本以上の場合は主筋群を等価な円環にモデル化する、解析方法は主筋、コンクリート共に層分割法を用いる。

・主筋が８本未満の場合は、主筋は個々の断面積及び配列をそのまま評価し、コンクリートは層分割法により、主筋の配置状況の中でその最小値を採用する。

(2) 断面は変形後も平面を保持するものとする。すなわち、圧縮領域では鉄筋とコンクリートの歪みは同一とする。

(3) 圧縮コンクリートの歪みが破壊歪みに達した時を終局状態とする。

(4) コンクリート及び鉄筋の応力度－歪度曲線は図 4.17 に示すものとする。

(5) 断面に作用する軸方向力の偏心距離 e は、コンクリート断面のせいの中央より算定する。

(6) ㈱ブレイブが提出する参考構造計算書の終局強度計算は、今まで多くの実績があり、4.4.4.3 に示す理論式と同様の精度で結果を得られる層分割法を用いて行なうこととする。なお、その際の断面分割数は仮想径に対して 400 分割とする。

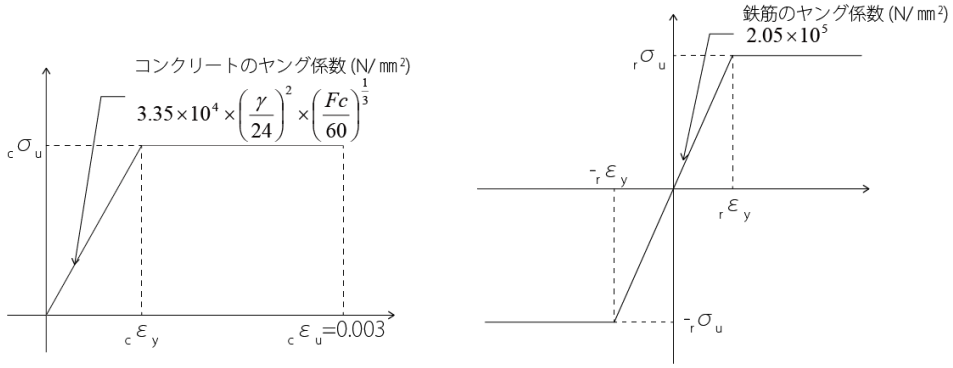


図 4.17　終局強度計算用応力度―歪度曲線（N/mm²）

4.4.4.2 記号

a_r　:主筋の断面積

a_{ci}　:i 番目主筋と重なっているコンクリート面積

a_c　:コンクリートの総断面積

r　:コンクリート断面の半径

r'　:主筋群の半径

θ　:中立軸が横切るコンクリート断面の外周点の角度

θ_i　:基準軸から i 番目主筋までの角度
（$=\alpha+(i-1)\times2\pi/m$）

α　:主筋配列角度

m　:主筋群の総本数

$_r\sigma_i$　:i 番目主筋が負担する応力度

$_c\sigma_i$　:i 番目主筋位置のコンクリートが負担する応力度

x_n　:曲げ材の圧縮縁から中立軸までの距離

x_{nw}　:曲げ材の圧縮縁からコンクリートの弾性域が始まる位置までの距離

M_u　:終局曲げモーメント(kN･m)

N_u　:終局時軸力(kN)

Fc　:コンクリートの設計基準強度(N/mm²)

E_r　:鉄筋のヤング係数（=2.05×10⁵N/mm²）

E_c　:コンクリートのヤング係数

$$(=3.35\times10^4\times\left(\frac{\gamma}{24}\right)^2\times\left(\frac{Fc}{60}\right)^{\frac{1}{3}}\ \mathrm{N/mm^2})$$

γ　:コンクリートの気乾単位体積重量(kN/m³)

$_r\sigma_u$　:主筋の終局強度(N/mm²)
（WSD490 の場合 490、WSD390 の場合 1.1×390）

$_c\sigma_u$　:コンクリートの終局強度(=Fc N/mm²)

S_{nc1}　:中立軸に関するコンクリートの有効断面１次モーメント

I_{nc1}　:中立軸に関するコンクリートの有効断面２次モーメント

S_{nc2}　:中立軸を x_{nw} に仮定した場合の中立軸に関するコンクリートの有効断面１次モーメント

I_{nc2}　:中立軸を x_{nw} に仮定した場合の中立軸に関するコンクリートの有効断面２次モーメント

$_c\varepsilon_u$　:コンクリートの終局歪み（=0.003）

$_c\varepsilon_y$　:コンクリートの降伏歪み

4.4.4.3 終局強度式

(1) 偏心荷重をうける断面の終局時軸力 Nu 及び終局曲げモーメント Mu は、主筋配列角度 $\alpha=\pi/m\sim2\pi/m$ の範囲を１０等分（11 箇所）したそれぞれの主筋配置状態に対して、以下の式で中立軸が横切るコンクリート断面の外周点の角度 θ ごとに計算し、それぞれの主筋配列角度 α で計算された各軸力 Nu に対する最小値を、主筋の配置を考慮した終局曲げモーメントとして採用する。

なお、Nu 及び Mu は以下の式のとおり、主筋部分とコンクリート部分に分けて計算を行ない、加算する。

$$N_u={}_rN_u+{}_cN_u、M_u={}_rM_u+{}_cM_u$$

1) 主筋部分の終局時軸力 ${}_rN_u$ 及び終局曲げモーメント ${}_rM_u$

$$ {}_rN_u = \sum_{i=1}^{m} a_r \times {}_r\sigma_i - a_{ci} \times {}_c\sigma_i $$

$$ = \sum_{i=1}^{m} \left(a_r \times E_r - a_{ci} \times E_c\right) \times {}_c\varepsilon_u \left(r'\cos\theta_i - r + x_n\right)/x_n $$

$$ {}_rM_u = \sum_{i=1}^{m} \left(a_r \times {}_r\sigma_i - a_{ci} \times {}_c\sigma_i\right) r'\cos\theta_i $$

$$ = \sum_{i=1}^{m} \left\{\left(a_r \times E_r - a_{ci} \times E_c\right) \times {}_c\varepsilon_u \left(r'\cos\theta_i - r + x_n\right)/x_n\right\} r'\cos\theta_i $$

ただし、$\left|{}_r\sigma_i\right| \le {}_r\sigma_u$、${}_c\sigma_i \le {}_c\sigma_u$、$a_{ci} \le a_r$ とする。

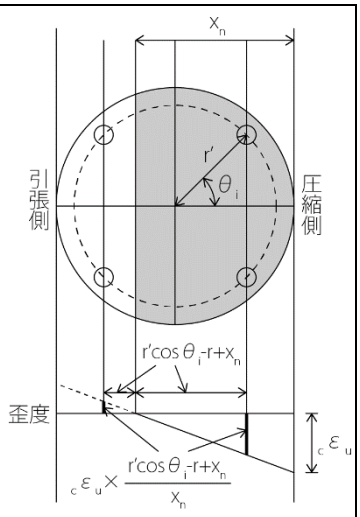


図 4.18　各主筋の歪度

2) コンクリート部分の終局時軸力 ${}_cN_u$ 及び終局曲げモーメント ${}_cM_u$

コンクリートの有効断面 1 次モーメント S_{nc1}、S_{nc2} 及び有効断面 2 次モーメント I_{nc1}、I_{nc2} は以下のコンクリートの中立軸に関する有効断面一次モーメント S_{nc} 及び二次モーメント I_{nc} の式を用いて計算する。ただし S_{nc2}、I_{nc2} を計算する場合の θ は x_{nw} を基に算出する。

$$ S_{nc} = r^3\left\{\frac{\sin\theta}{3}\left(2+\cos^2\theta\right) - \theta\cos\theta\right\}、I_{nc} = r^4\left\{\theta\left(\frac{1}{4}+\cos^2\theta\right) - \sin\theta\cos\theta\left(\frac{13}{12}+\frac{1}{6}\cos^2\theta\right)\right\} $$

(a) 断面全引張時（$x_n = 0$）

$$ {}_cN_u = 0 $$

$$ {}_cM_u = 0 $$

(b) 弾性域のコンクリートがある時（$0 < x_n \le \left({}_c\varepsilon_u + {}_c\varepsilon_y\right)/\left({}_c\varepsilon_u - {}_c\varepsilon_y\right) \times r$）

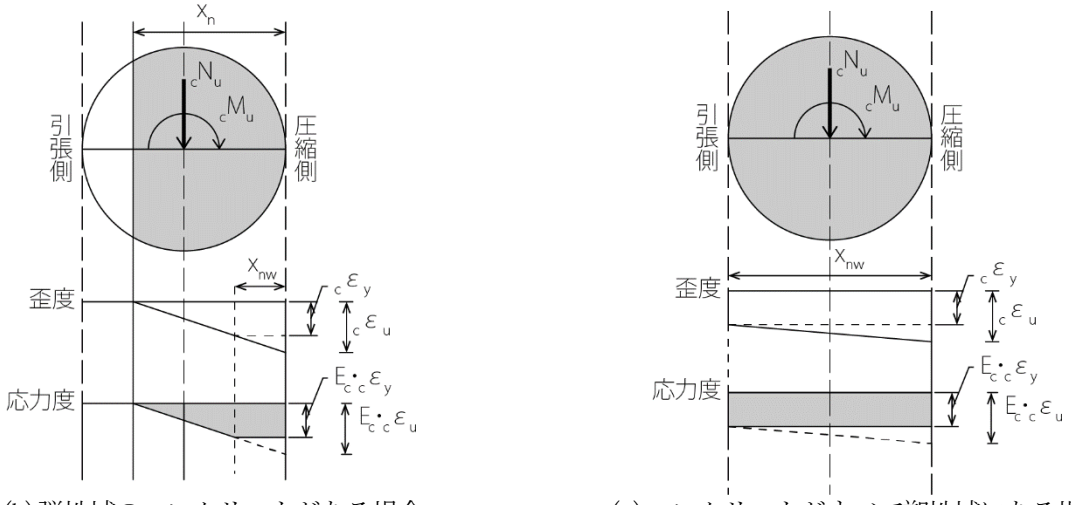
$$ {}_cN_u = E_c \times {}_c\varepsilon_u \times S_{nc1}/x_n - E_c \times \left({}_c\varepsilon_u - {}_c\varepsilon_y\right) \times S_{nc2}/x_{nw} $$

$$ {}_cM_u = \left(\frac{I_{nc1}}{S_{nc1}} - x_n + r\right) E_c \times {}_c\varepsilon_u \frac{S_{nc1}}{x_n} - \left(\frac{I_{nc2}}{S_{nc2}} - x_{nw} + r\right) E_c \times \left({}_c\varepsilon_u - {}_c\varepsilon_y\right) \frac{S_{nc2}}{x_{nw}} $$

(c) コンクリートがすべて塑性域にある時（$\left({}_c\varepsilon_u + {}_c\varepsilon_y\right)/\left({}_c\varepsilon_u - {}_c\varepsilon_y\right) \times r < x_n$）

$$ {}_cN_u = E_c \times {}_c\varepsilon_y \times a_c $$

$$ {}_cM_u = 0 $$



(b) 弾性域のコンクリートがある場合　　(c) コンクリートがすべて塑性域にある場合

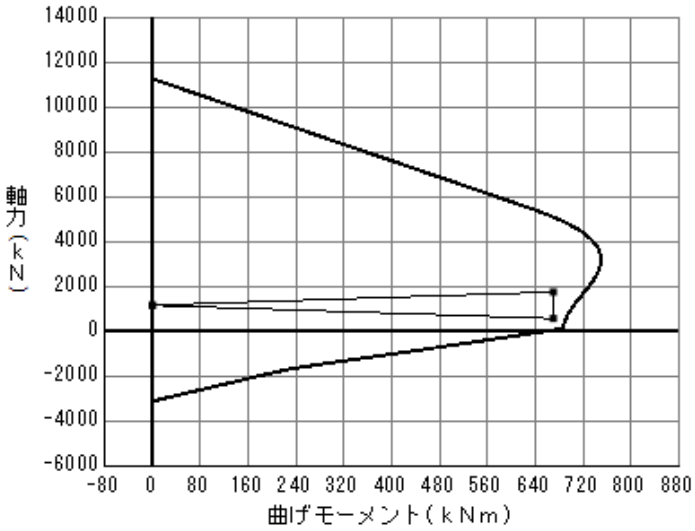
図 4.19　コンクリートの弾性域及び塑性域による場合

4.4.5 M-N 図出力例

4.4.1～4.4.4 の計算方法に従って計算を行った場合、以下のような M-N 図が結果として得られる。

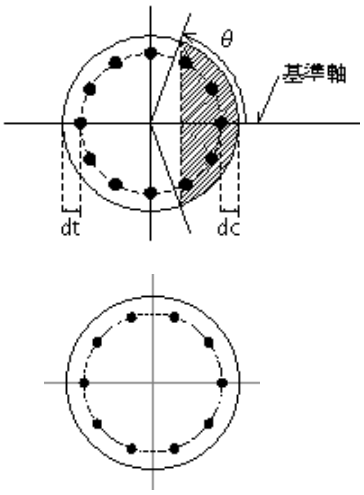
杭番号 1 －	Φ600　SKK490 t=9mm		WSD390 10-WD32N　中詰補強筋なし	
応力度の検討	荷重ケース　短期			
Md=670kNm	Nmin＝589kN		Nmax＝1767kN	
	応力度 (N/cm²)	許容応力度 (N/cm²)	応力度 (N/cm²)	許容応力度 (N/cm²)
NewJ-BAR 引張	31689.8	39000	16895.6	39000
NewJ-BAR 圧縮	14813.3	39000	16147.5	39000
中詰補強筋引張	0	29500	0	29500
中詰補強筋圧縮	0	29500	0	29500
コンクリート圧縮	1551.9	1600	1477.5	1600

コンクリートの設計基準強度 Fc24	
仮想鉄筋コンクリート断面	
RC 断面	D＝600 + 264
NewJ-BAR	atm＝79.4cm²
NewJ-BAR 半径	rm＝ 31.67cm
NewJ-BAR 断面二次モーメント	Im＝atm×rm²／2 ＝39818.7cm⁴
中詰鉄筋	Atn＝0cm²
中詰鉄筋半径	rn=0cm
中詰鉄筋かぶり寸法	0cm
中詰鉄筋断面二次モーメント	In＝atn×rn²／2 ＝0cm⁴
1 段鉄筋換算半径	r’＝√(In＋Im)×√2／√(atn＋atm) ＝31.67cm



終局曲げモーメント	終局軸力 (kN)	杭頭補強部 Mua (kNm)	設計 Mud (kNm)	Mua/Mud
	0	1021.3	1000	1.02
	2356	1478.1	1000	1.48

概要図



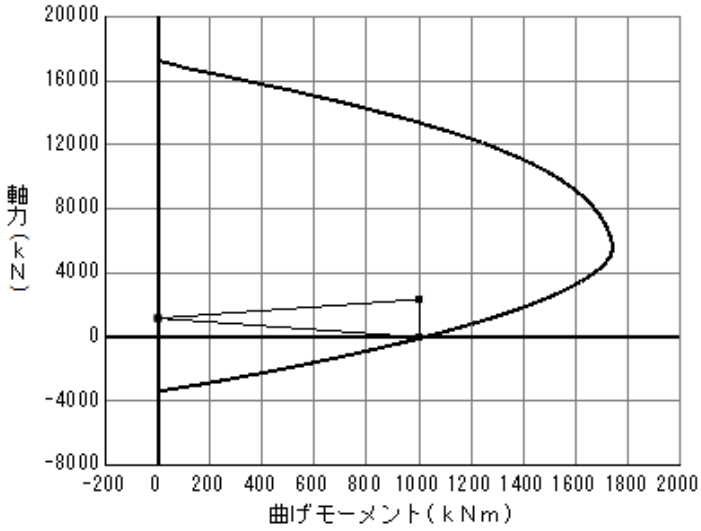


図 4.20 M-N 図出力例

【解説】

1） 主筋群を等価な円環に置き換えた場合と主筋の配置を考慮して計算した場合の差

学会「RC 規準・同解説」では、等間隔に 8 本以上配置された主筋群を円環に置き換えて計算を行っている。この計算式は学会「RC 規準・同解説（1971）」の 15 条に詳細に解説されている。

ここで、8 本未満の主筋が等間隔に配置された場合には、主筋の配置状態によって円環に置き換えた場合と比較し、差異が発生するため、8 本未満の NewJ-BAR の杭頭補強計算を行う場合には主筋の配置位置ごとの M 値の最小値を採用する必要がある。

許容応力度設計の場合には、4.4.3.3 に示した主筋の配置を考慮した場合の最小値を求める式が、学会「RC 規準・同解説」に示された円環に置き換えて計算する式と同等になる。

終局強度設計の場合には、最外端の主筋や圧縮コンクリートが降伏値に達した後、徐々に内側のものが降伏値に達する過程を経るが、その際軸方向力の多少により、不連続に配置された内側の主筋が降伏値に達するか否かで差異が生じるので、最小のM値となる計算軸が変わる。

以下に主筋間隔角度（＝2π/鉄筋本数）の 10 分の一の間隔で主筋を移動させた 10 通りの M-N 値（K0～K9）、最小の M-N 値（最小 M）及び円環に置き換えた場合の M-N 値（円形）を示す。

K0～K9 で M-N 値の大小が入れ替わる点が複数あり、最小の M-N 値が円環に置き換えた場合の M-N 値を下回る箇所があることがわかる。

従って 8 本未満の終局強度計算を行う場合には、円環に置き換えるのではなく、主筋の配置を考慮して、最小の M-N 値を求める必要がある。

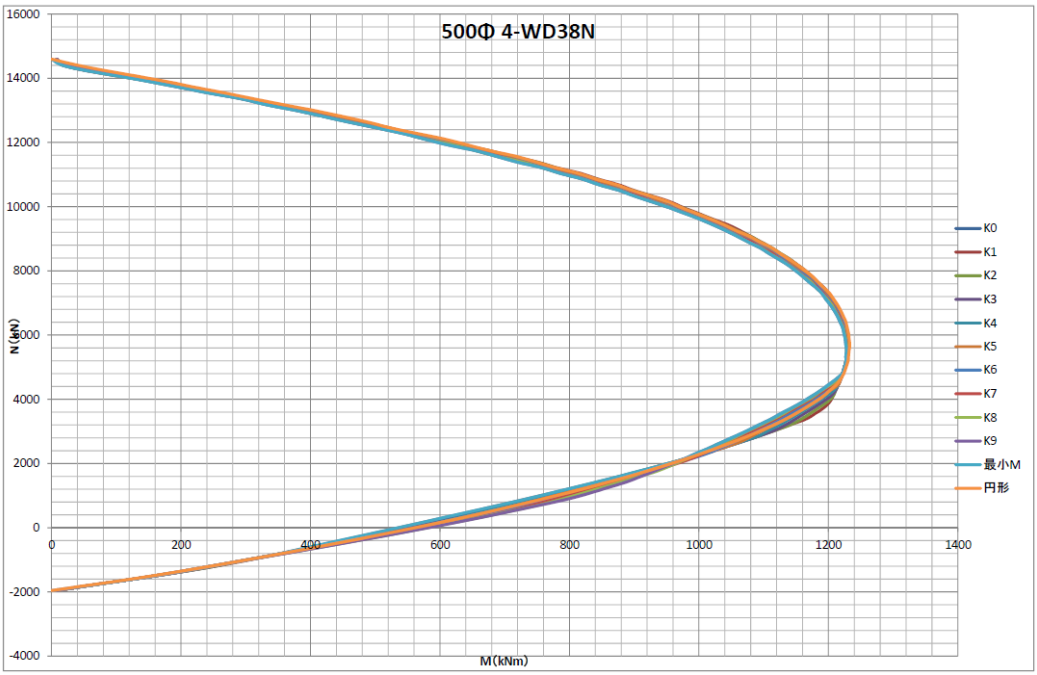


図 4.21　等価な円環置換と主筋の配置を考慮した対比 M-N 図

【参考】

下記に補強筋（主筋）を円環に見立てた M-N 計算式を下記に示す。

(1) 短期 M-N 計算式(日本建築学会「RC 規準・同解説（1971）」の 15 条より転載)

1)　中立軸位置 x_n は以下の式で決定できる。図 4.22 で軸方向の力の釣り合いから、

$$P = \int (\sigma_0 y) \cdot dAc + \sum (n\sigma_0 y) \cdot a \qquad (1)$$

中立軸に関するモーメントのつりあいから、

$$P\left(x_n - \frac{D}{2} + e\right) = \int (\sigma_0 y \cdot dAc) y + \sum (n\sigma_0 \cdot y \cdot a) \cdot y \qquad (2)$$

ここで、

$$Sn = \int y dAc + \sum n \cdot y \cdot a$$ ：中立軸に関する有効等価断面の１次モーメント

$$In = \int y^2 \cdot dAc + \sum n \cdot y^2 \cdot a$$ ：中立軸に関する有効等価断面の２次モーメント

であるから、(1)式は

$$P = \sigma_0 \cdot Sn \qquad (3)$$

また(2)式は

$$P\left(x_n - \frac{D}{2} + e\right) = \sigma_0 \cdot In \qquad (4)$$

(3)/(4)より

$$x_n - \frac{D}{2} + e = \frac{In}{Sn} \qquad (5)$$

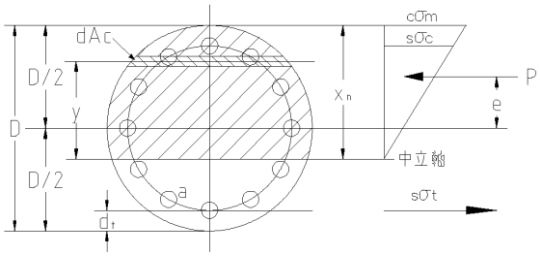


図 4. 22

中立軸周りの断面１次モーメント Sn および断面２次モーメント In は下の各項による。(図 4. 23 参照)

2) 断面の一部に引張り応力が生じる場合

$$\begin{aligned} Sn &= r^3\left\{\frac{\sin\theta}{3}\left(2+\cos^2\theta\right)-\theta\cos\theta\right\}+\sum_{i=1}^{m} n\cdot ar\left(r'\cos\left(\alpha+\frac{2\pi}{m}(i-1)\right)-r\cos\theta\right) \\ &= r^3\left\{\frac{\sin\theta}{3}\left(2+\cos^2\theta\right)-\theta\cos\theta\right\}-n\cdot \mathrm{P}g\cdot\pi r^3\cdot\cos\theta \end{aligned} \qquad (6)$$

$$\begin{aligned} In &= r^4\left\{\theta\left(\frac{1}{4}+\cos^2\theta\right)-\sin\theta\cos\theta\left(\frac{13}{12}+\frac{1}{6}\cos^2\theta\right)\right\}+\sum_{i=1}^{m} n\cdot ar\left(r'\cos\left(\alpha+\frac{2\pi}{m}(i-1)\right)-r\cos\theta\right)^2 \\ &= r^4\left\{\theta\left(\frac{1}{4}+\cos^2\theta\right)-\sin\theta\cos\theta\left(\frac{13}{12}+\frac{1}{6}\cos^2\theta\right)\right\}+n\cdot Pg\cdot\pi r^4\left(\frac{1}{2}\left(\frac{r'}{r}\right)^2+\cos^2\theta\right) \end{aligned} \qquad (7)$$

3) 断面内に引張り応力を生じない場合

$$\left.\begin{aligned} Sn &= Ae\left(x_n - r\right) \\ In &= Ig + Ae\left(x_n - r\right)^2 \end{aligned}\right\} \qquad (8)$$

$$\left.\begin{aligned} Ae &= \left(1+np_g\right)\pi r^2 \\ Ig &= \frac{1}{4}\left\{1+2np_g\left(\frac{r'}{r}\right)^2\right\}\pi r^4 \end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

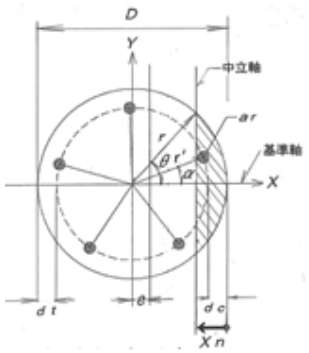


図 4. 23

4) 断面内に圧縮応力を生じない場合

$$\left.\begin{aligned} Sn &= Ae\left(x_n + r\right) \\ In &= Ig + Ae\left(x_n + r\right)^2 \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

$$\left.\begin{aligned} Ae &= np_g\pi r^2 \\ Ig &= \frac{1}{2}np_g\left(\frac{r'}{r}\right)^2\pi r^4 \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

許容軸方向力および許容曲げモーメント

5) 許容軸方向力Nに対する許容曲げモーメントMは次式による。

$$M = \left(\frac{In}{Sn} - x_n + \frac{D}{2}\right)N \qquad (12)$$

6) 偏心荷重をうける断面の許容軸方向力Nは、(13)式のうち、いずれか小さい方による。

ｉ）断面内に圧縮応力が生じる場合

$$\left.\begin{aligned} N_1 &= \frac{Sn}{x_n} \cdot f_c \\ N_2 &= \frac{Sn}{n(x_n - d_c)} \cdot {}_r f_c \\ N_3 &= \frac{Sn}{n(D - d_t - x_n)} \cdot {}_r f_t \end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

ⅱ）断面内に圧縮応力が生じない場合

$$N = \frac{Sn}{n(D - d_t + x_n)} \cdot {}_r f_t \qquad (14)$$

上式中使用した記号は下記による

ａｒ：主筋の断面積
Ｄ：コンクリート断面の直径（＝2r）
ｒ：コンクリート断面の半径
ｒ´：主筋群の半径
ｄｃ：基準軸上の圧縮縁から圧縮主筋重心までの距離
ｄｔ：基準軸上の引張縁から引張主筋重心までの距離
θ：中立軸が横切るコンクリート断面の外周点の角度
α：主筋配列角度
Xn：曲げ材の圧縮縁から中立軸までの距離
Ｓｎ：中立軸に関する有効等価断面１次モーメント
Ｉｎ：中立軸に関する有効等価断面２次モーメント
Ｍ：許容曲げモーメント
Ｎ：許容軸方向力
ｎ：ヤング係数比
ｍ：主筋群の総本数
ｆｃ：コンクリートの許容圧縮応力度
ｒｆｃ：主筋の許容圧縮応力度
ｒｆｔ：主筋の許容引張応力度
ｅ：断面に作用する軸方向力のコンクリート断面のせいの中央より算定した偏心距離
Ｐｇ：主筋比（＝主筋全断面積/コンクリートの全断面積）
Ａｅ：主筋コンクリート断面の等価断面積
Ｉｇ：中立軸に関する有効等価断面２次モーメント
σ_0：中立軸から単位距離のコンクリート圧縮応力度

（２）終局Ｍ-Ｎ計算式

層分割法よる方法を例示する。

終局曲げモーメントを図4.22および以下に示す仮定により求める。

1)計算上の仮定

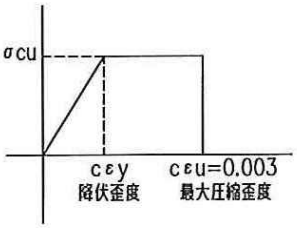
ａ．主筋の圧縮及び引張応力度－歪度曲線は降伏点に達するまでは弾性であり、降伏点以降は完全弾塑性とする。

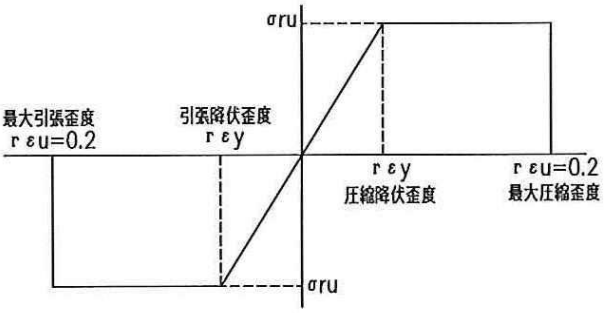
ｂ．コンクリートの圧縮応力度－歪度曲線は降伏点に達するまでは弾性であり、降伏点以降は完全弾塑性とする。コンクリートの引張強度は無視する。

ｃ．仮想コンクリートの断面の歪は、曲げが加わった後も平面が保持される（ 平面保持の仮定 ）。

ｄ．ある軸力下において圧縮縁のコンクリートの歪が最大圧縮歪に達した時を終局状態とする。コンクリートの最大圧縮歪度は $c\varepsilon u$=0.003とする。

ｅ．ある軸力下において引張主筋の歪が最大引張歪に達した時を終局状態とする。主筋の最大引張歪度 は $t\varepsilon u$=0.2とする。





2) 計算方法の概略

仮想コンクリート断面を下記に示す微小な幅にスライスする分割法による。

a．圧縮終局状態

圧縮側最外縁コンクリート要素の歪を最大圧縮歪度 cεu に固定し、引張側主筋の歪εtens を rεy から主筋の最大引張歪度 rεu まで変化させる。

b．引張終局状態

引張主筋要素中心の歪を最大引張歪度 rεu に固定し、圧縮側最外縁コンクリート要素の歪εcomp を cεy からコンクリート最大圧縮歪度 cεu まで変化させる。

c．終局軸力と終局曲げモーメントの計算

i)歪度分布(εcomp、εtens)が与えられると各要素の歪度が計算できる。

ii)材料の応力度－歪度関係にしたがい各要素の応力度を計算する。

iii)(各要素の応力度)×(各要素の断面積)の総和により、終局軸力Nu を求める。

Nu＝Σ｛σc(i)×Ac(i)＋σr(i)×Ar(i)｝

iv)(各要素の応力度)×(各要素の断面積)×(各要素図心の、仮想コンクリート断面図心からの距離) の総和から、曲げモーメントMu を求める。

Mu＝Σ｛σc(i)×Ac(i)＋σr(i)×Ar(i)｝Yg(i)

ここにσc(i)＝cε(i)×Ec ， σcu(i)までカウントする

σr(i)＝rε(i)×Er ， σry(i)までカウントする

σc(i)：コンクリートの圧縮応力度

σr(i)：主筋の圧縮、引張応力度

σcu(i)：コンクリートの降伏圧縮応力度

σru(i)：主筋の降伏圧縮、引張応力度(≒σry)

Ac(i)：コンクリートの微少分割面積

Ar(i)：主筋の微少分割面積

cε(i)：コンクリートの圧縮歪度

rε(i)：主筋の圧縮、引張歪度

Ec：コンクリートのヤング係数

Er：主筋のヤング係数

3) 基準値の計算

・コンクリートのヤング係数

学会RC規準「2018年度版」より $Ec = 3.35\times10^4\times(\frac{\gamma}{24})^2\times(\frac{Fc}{60})^{\frac{1}{3}}$

例：Fc27N／mm²の場合 $Ec = 33500\times(\frac{23}{24})^2\times(\frac{27}{60})^{\frac{1}{3}} = 23577\,N/mm^2$

・コンクリートの降伏歪度 $c\varepsilon y = \frac{Fc}{Ec}$ Fc27N／mm²の場合 $c\varepsilon y = \frac{27}{23577} = 0.001145$

・コンクリートの破壊歪度 $c\varepsilon u = 0.003$

・主筋のヤング係数 学会RC規準「2018年度版」より $Er = 205000\,N/mm^2$

・主筋の降伏歪度　　$r\varepsilon y = \dfrac{Ftu}{Er}$　　SD390 の場合　$r\varepsilon y = \dfrac{390 \times 1.1}{205000} = 0.002093$

・主筋の最大歪度　　$t\varepsilon u = 0.2$

4)　分割面積の計算

仮想コンクリート断面を図 4.24 のように分割する

ｉ）主筋は等断面積の円環状に置換する、そのときの円環厚さは

$$rt = \frac{1}{2} Pgn \times \frac{r^2}{r1}$$

ここに rt ：主筋の等価円環厚さ

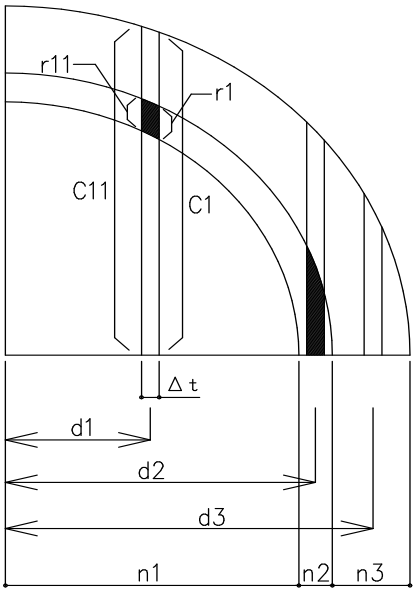
Pgn ：主筋比

r ：仮想コンクリート断面半径

$r1$ ：主筋の等価円環中心の半径

ⅱ）分割範囲は３種類とする

A、一般部分――― d１　B、主筋円環端部――― d２　C、コンクリートのかぶり部分――― d３



ⅲ）各部分における面積を平行四辺形に近似させ、鉄筋の断面積 Ar(I)とコンクリート断面積 Ac(I)を各図心からの距離における配列変数内に記録していく

鉄筋の微少断面積＝(r1＋r11)⊿t×0.5

コンクリートの微少断面積＝(C1＋C11)　⊿t×0.5－(r1＋r11)⊿t×0.5

微少分割幅⊿t＝r／200

上記計算を仮想コンクリート断面全体で行う。

図 4.24　分割面積図

5)応力計算（次頁図 4.25 参照）

ｉ)コンクリートの歪度を破壊歪度の位置に固定する。

↓

ⅱ)主筋の引張歪度をコンクリートの破壊歪度から、主筋の破壊歪度の位置まで徐々に移動させる。図 4.25 において、①から②へ微少間隔で移動させる。

↓

移動毎に全ての分割面積の要素における歪度から応力を計算し、トータルして軸力と曲げモーメントを随時算出する。(繰り返し計算)

iii）随時計算する軸力が設計軸力に到達した瞬間の歪状態における曲げモーメントをその設計軸力における終局曲げモーメントとする。

（この方法による軸力計算は圧縮（＋）から徐々に減り引張（－）となり途中で増加することはない。したがって収束軸力は一つであり曲げモーメントは唯一決定される。）

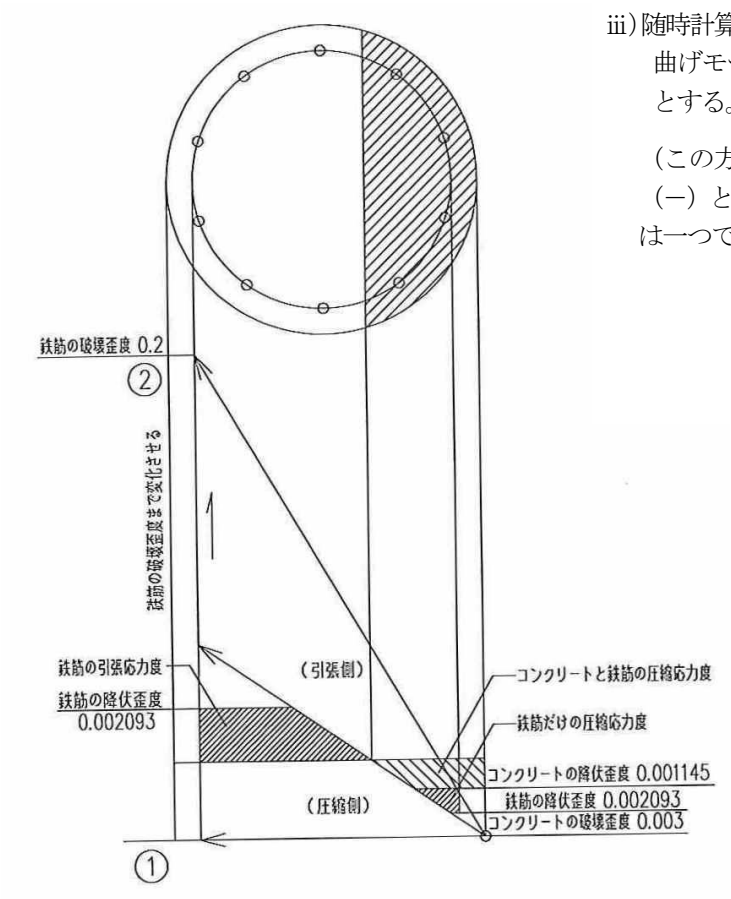


図 4.25　弾塑性応力図

4.5　標準的な設計計算フローチャート

杭種、杭径および設計用杭頭応力（軸力N、曲げモーメントMおよびせん断力Q）が決定した後、開先付き異形棒鋼の設計計算は、図4.26に示すフローチャートの手順に沿い、行うものとする。

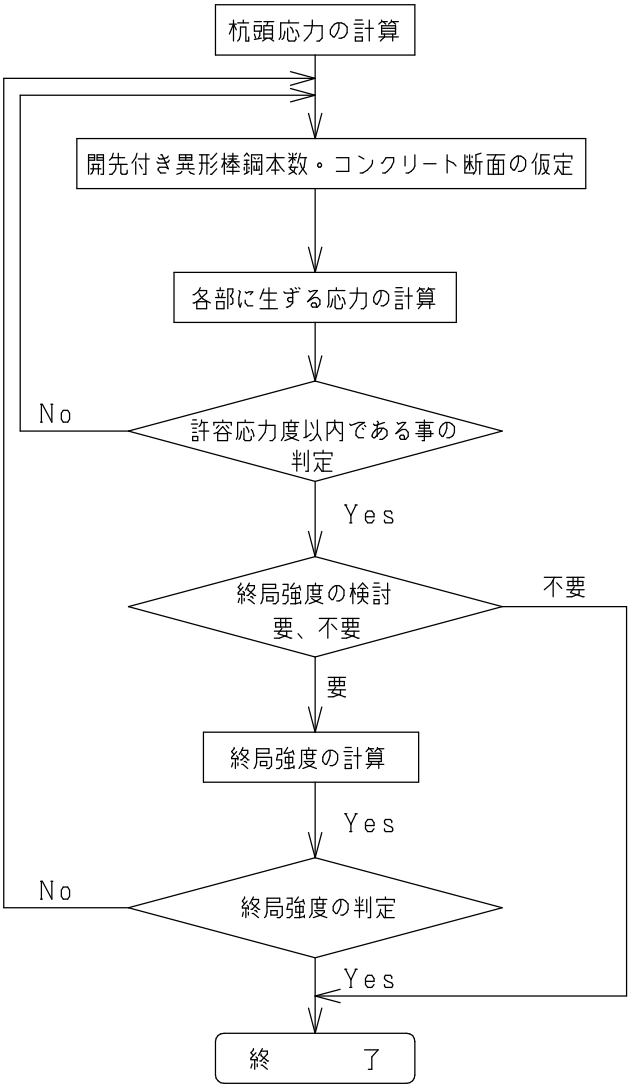


図4.26　標準的な杭頭設計検証フローチャート

【解説】

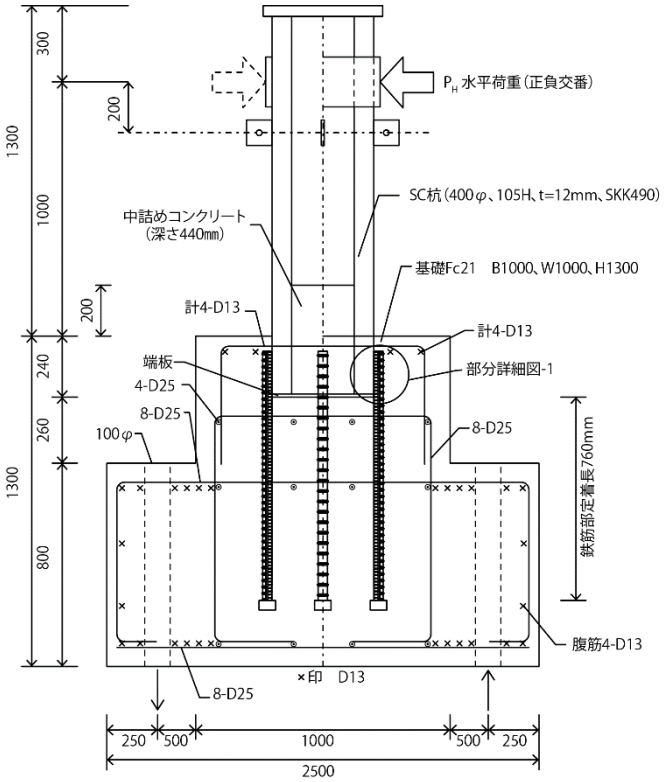
終局強度の確認は、法令に規定されている建築物に関して行なう他、上部構造を保有水平耐力計算、限界耐力計算、その他の新検証法で設計した建築物などで実施することが望ましい。

ＳＣ杭と開先付き異形棒鋼による杭頭接合部の正負交番載荷実験例

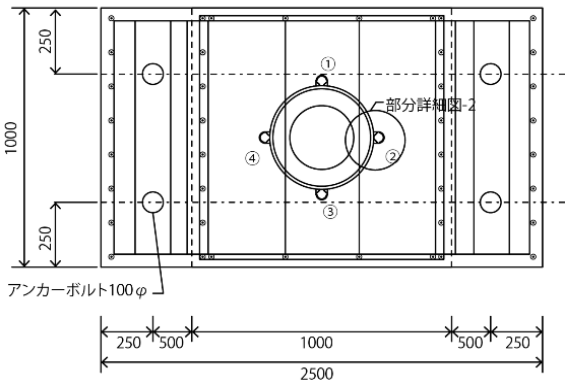
杭頭の側面に補強筋を直接、部分溶け込み溶接して形成した、接合部の耐力および塑性変形性能を明らかにするため、シャースパン比(M/(QD))2.5 の片持ち柱形式で正負交番水平載荷を行った実験

1.実験計画:株式会社クラウン、株式会社ブレイブ
2.実験実施:一般財団法人ベターリビング
3.実験時期:2016 年 2～3 月
4.杭　　種:SC 杭 400φ 鋼管 12 ㎜(SKK490)
5.杭頭補強筋:4-WD38N(WSD390)
6.試験体構成:400φ杭に 4 本の補強筋を取り付け、基礎梁から突出させた基礎フーチングに 240 ㎜埋め込み、接合部を形成した試験体
7. 載荷方式:基礎フーチング表面より杭径の 2.5 倍の高さ位置に、反力壁に設置したアクチエーターより正負交番水平載荷する方式　杭軸力は0
8. 補強筋接合:J開先部分溶け込み溶接 有効のど厚 12.5 ㎜、溶接長 160 ㎜

試験体および載荷装置全景

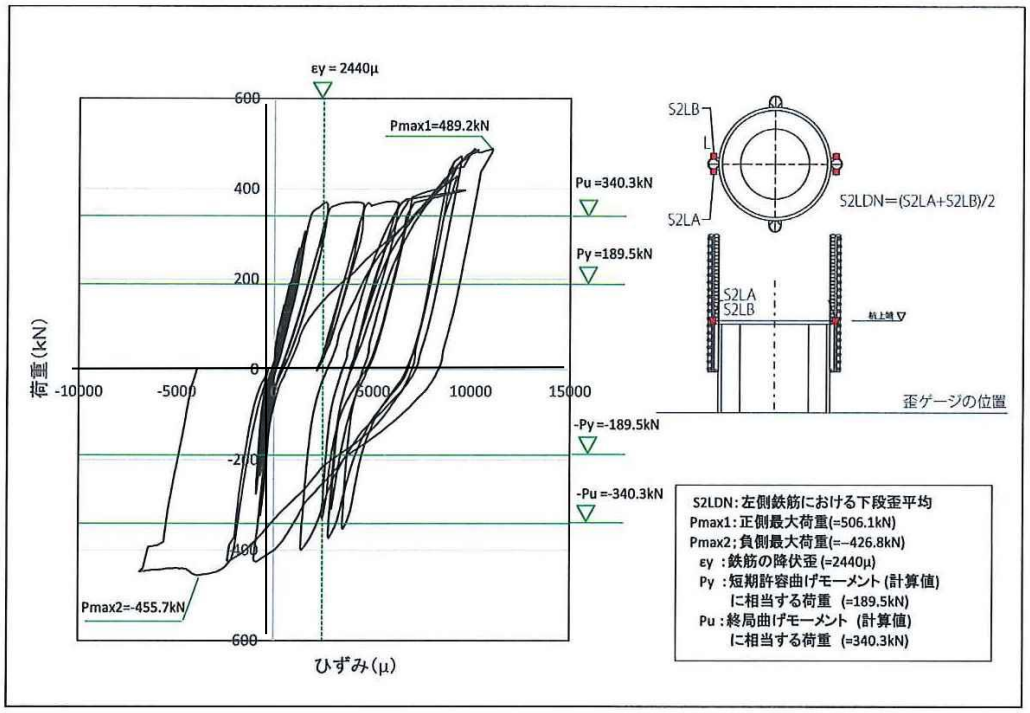


試験体立面図



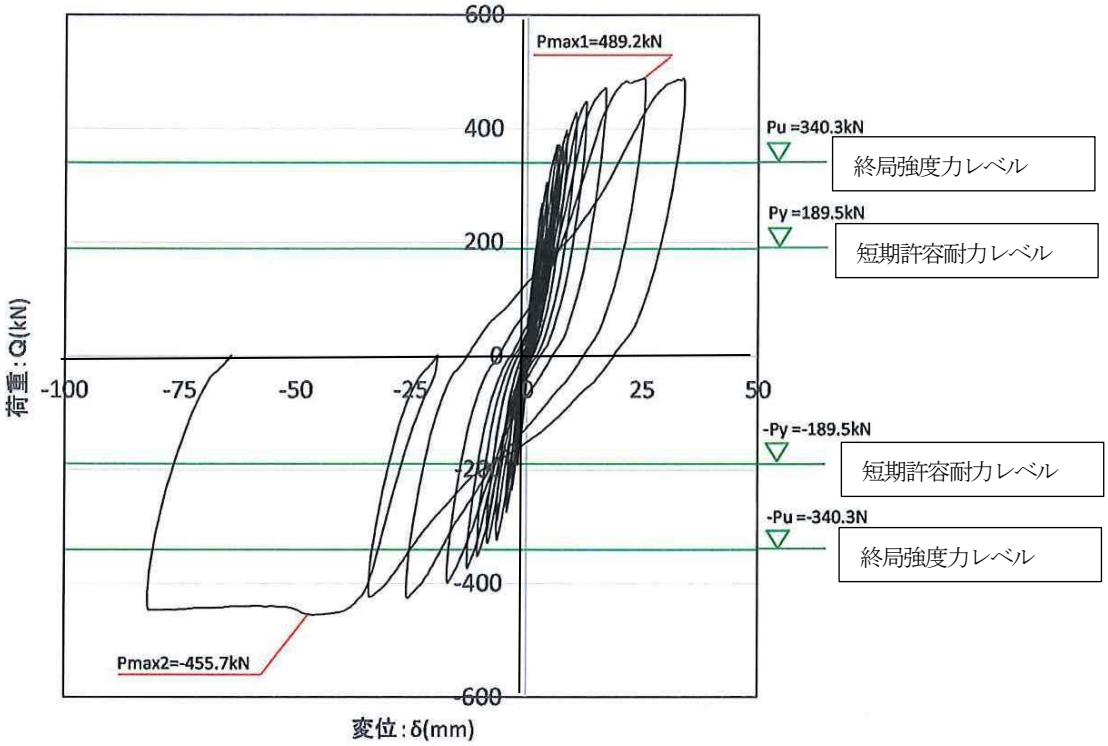
試験体平面図

実験結果 1. 補強筋の歪履歴（S2LA と S2LB の歪平均値）



試験体の鉄筋（補強筋）は、短期許容載荷力の 1.5 倍程度まで弾性的挙動を示し、荷重が 1.7 倍に達して降伏する。塑性変形に伴い残留歪がでるが、最大負荷重領域では歪も負（圧縮）に転じ、鉄筋とコンクリートとの累加が成立する状況を呈している。PyおよびPuは、それぞれ計算上の短期許容耐力レベル、終局強度レベルを示す。

実験結果 2. 載荷力−載荷点水平変位履歴



試験体は補強筋の降伏と歪硬化による応力度上昇により、最大耐力が決定している。履歴は紡錘型の特性を示し、エネルギー吸収能力が大きい。試験体は最大耐力後も耐力を保持し続け、大変形に達し除荷により実験が終了した。終了後、斫りを行ったが、溶接部も補強筋も破断していない。

開先付き異形棒鋼 NewJ-BAR
国土交通大臣認定品
WSD390（MSRB-0118）　WSD490（MSRB-0120）
WSD490WD41J(MSRB-0129,MSRB-0119,MSRB-0108)

株式会社ブレイブ　URL ｈｔｔｐ://www.ｊ－ｂａｒ.ｊｐ/
エンジニアリングスタッフ　小林　TEL：026-284-5042
E-mail：s-1sekkei@mbm.ocn.ne.jp　FAX：026-284-5075

構造計算書作成依頼シート

貴　社　名			ご担当者様		
E－mail		TEL		FAX	
ご依頼日	令和　　年　　月　　日		希望回答日	令和　　年　　月　　日	
工事名称					
建設地					

基本条件	希望する鉄筋径	WSD390	WSD490
		・WD32J　・WD38J ・WD35J	・WD32J　・WD38J ・WD35J　・WD41J
		・(最小フーチング成:　　) 定着長＝鋼管上端から開先付き異形棒鋼先端まで	
	計算仕様	・長期　・短期　・終局	
	杭の種類	・SC杭　・S杭　・外殻鋼管場所打ちコンクリート杭　・	
	基礎コンクリート強度	・Fc21N　・Fc24N　・Fc27N　・Fc	
	鋼管材質	・SKK400　・SKK490　・	

番号	上杭径(mm)	上杭の鋼管厚(mm)	本数	設計応力(終局は必要に応じて)			
				曲げモーメント(kNm)	短期軸力(kN)(min～max)	終局曲げモーメント(kNm)	終局軸力(kN)(min～max)
					～		～
					～		～
					～		～
					～		～
					～		～
					～		～
					～		～
					～		～

ご依頼者様からの連絡事項

注１．　構造計算書はメールで、「杭頭補強の設計・施工に関する特記仕様書」と共に送付致します。
なお、開先付き異形棒鋼をご採用いただく場合、原則として、別添.「杭頭補強の設計・施工に関する特記仕様書」を構造設計図書にご記載（貼付）いただきますようお願いします。

注２．　構造設計はもとより、構造設計図書作成および見積り等の問合せにつきましても、エンジニアリングスタッフ及びホームページ上できめ細かくサポート致します。

注３．　依頼シート(本状)はメール又はFAXでお願いします。
依頼シートをメールで送付される場合は、　Microsoft　Word　でのご記入をお願いします。

資料－3

杭頭補強の設計・施工に関する特記仕様書

特記仕様書のCADデータは、ホームページより
ダウンロード願います。

2022 年 8 月改訂

株式会社ブレイブ