

論文 フレア溶接鉄筋を用いた杭頭部定着工法における溶接継目の基礎的性状および最大耐力評価

保木 和明*1・毛井 崇博*2・加倉井 正昭*3

要旨: 本研究では、フレア溶接鉄筋を用いた杭頭部定着工法における溶接継目（フレア溶接）の基礎的性状、および、最大耐力について、単調引張試験（D25, SD345, 溶接幅 10mm）に基づいて検討した。本実験では、主に、溶接長さを実験変数とした。その結果、1) 溶接継目の最大せん断強度は、溶接長さが $2d$ (d : 鉄筋の呼び名の数値) 以上であれば、母材の引張強さとほぼ同程度であること、2) 溶接ワイヤーの規格引張強さをを用いた算定式により、溶接継目の最大せん断強度を評価できること、などがわかった。

キーワード: フレア溶接鉄筋, 溶接長さ, 最大せん断強度, 破壊モード

1. はじめに

外殻鋼管付きコンクリート (SC) 杭や鋼管杭の杭頭部では、鋼管の外側に鉄筋をフレア溶接することで埋め込み部に定着させ、所定の曲げ強度を確保している。近年、杭の高強度化や大型化に伴い、杭頭定着部の曲げ強度の増大が求められている一方、基礎などにおける配筋の高密度化により杭頭定着部の合理化などの要求もある。このような中、筆者らの数名は、杭頭定着部の曲げ強度の増大を図るために、フレア溶接鉄筋を用いた杭頭部定着工法を提案し、部材実験を中心に検討してきた¹⁾。

この工法は (図-1 参照)、定着筋、中間筋、つなぎ筋から構成され、中間筋の本数を変えることで、定着筋の位置を外側に広げることが可能となる。そのため、曲げ強度算定用の仮想断面直径の拡大が期待できる。さらに所定の耐力を確保したまま、定着筋の本数を減らすこともできる。

杭頭部定着工法の構造性能において、「定着筋と中間筋」や、「中間筋とつなぎ筋」に用いられているフレア溶接の性能を精度よく把握しておくことが重要となる。さらに、杭頭定着部を合理化するためには、最適な溶接長さとする (溶接長さを短くする) ことも必要である。そこで、本研究では、「定着筋と中間筋」などに用いられるフレア溶接の基礎性状を把握することをめざし、その端緒として、溶接長さを実験変数とする単調引張試験を実施した。さらに、溶接継目の最大耐力の評価を試みた。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体概要を表-1、および、表-2、図-2、図-3 に示す (予測値および実験結果については後述)。試験体は、

異形鉄筋 D25 (SD345, 最外径 D_o : 28mm) をフレア溶接により組み合わせることで、「定着筋と中間筋」や「中間

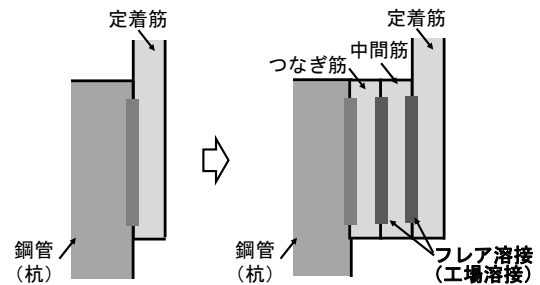


図-1 フレア溶接鉄筋を用いた杭頭部定着工法の概要

表-1 試験体および実験結果の概要

試験体諸元				実験結果				
試験体名	l_w (mm)	l_w/d	予測値	σ_u (N/mm ²)	σ_y (N/mm ²)	破壊モード		
1d-1	25	1	229.7	260.3	—	—	溶接型	
1d-2			267.2	260.1	—		溶接型	
1d-3			—	—	—		溶接型	
2d-1	50	2	459.3	512.1	378.0	377.2	溶接型	
2d-2			534.3	535.7	375.7		溶接型	
2d-3			—	519.4	377.9		溶接型	
3d-1	75	3	689.0	556.3	377.1	369.4	鉄筋型	
3d-2			801.5	567.1	392.6		鉄筋型	
3d-3			—	564.1	338.7		鉄筋型	
2dE-1	50	2	459.3	261.6	—	—	溶接型	
2dE-2			534.3	235.3	254.6		—	溶接型
2dE-3			—	266.8	—		—	溶接型
3dE-1	75	3	689.0	409.7	344.0	344.8	溶接型	
3dE-2			801.5	345.4	342.1		溶接型	
3dE-3			—	400.3	348.3		溶接型	
4dE-1	100	4	918.7	562.2	346.2	349.6	鉄筋型	
4dE-2			1068.7	561.4	371.4		鉄筋型	
4dE-3			—	549.8	331.2		鉄筋型	

l_w : 溶接長さ, d : 鉄筋の呼び名の数値, 予測値: 溶接継目の最大せん断強度の算定値 (上段が δ_{w,q_s} [490], 下段が δ_{w,q_s} [570], 4.1 節参照), σ_u : 最大強度 (2.3 節参照), σ_y : 降伏強度 (2.3 節参照), 破壊モード: 2.3 節参照

表-2 溶接ワイヤーの概要

名称	化学成分					機械的性質		
	C	Si	Mn	P	S	耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び %
AS-1	0.04	0.52	1.46	0.015	0.008	520	570	28

*1 北九州市立大学 国際環境工学部 建築デザイン学科 准教授 博士 (工学) (正会員)

*2 九州工業大学大学院 前 教授 博士 (工学) (正会員)

*3 パイルフォーラム株式会社 博士 (工学)

筋とつなぎ筋」におけるフレア溶接した部分を再現したものである。なお、試験体は、偏心による鉄筋（試験体）の曲げ変形の影響を小さくすることを考慮して、対称な形状としている（図-2、図-3中、上下対称）。荷重治具部に用いたフレア溶接は、幅5mm、長さ300mmまたは250mm（両面）である。

本研究では、実験の主目的から2つの実験シリーズを計画した。まず、溶接継目の基礎的なせん断性状を把握することを目的に、偏心による曲げモーメントの影響が小さくなるようにして、フレア溶接にせん断力が作用するように計画した試験体（中間筋なし試験体）による実験を実施する。次に、杭頭部に「中間筋」を用いることで鋼管と定着筋が大きく偏心して設置されることから、「中間筋」を考慮した試験体（中間筋あり試験体）による実験を実施する。以下、実験シリーズごとに、それら試験体の概要を述べる。

(1) 中間筋なし試験体

試験体の構成は、主に溶接継目（フレア溶接）、鉄筋部、荷重治具部の3つで構成される。実験変数となる溶接継目の長さは、25mm（1d、d：鉄筋の呼び名の数値）、50mm（2d）、75mm（3d）の3種類とし、溶接幅をすべて同じ10mmとなるように計画した。試験体数は、これらの溶接長さと同じ試験体をそれぞれ3体ずつ製作し、合計9体である。

フレア溶接は、鉄筋のリップとリップを合わせて、片面2層2パスとし、両面に半自動溶接を行った。溶接ワイヤーは、AS-1：490級を用いた。なお、溶接幅は、実測の結果、約10mm以上であったことを確認している。ここで、使用した鉄筋は、材料試験の結果（平均値）、降伏強度が385.5N/mm²（降伏ひずみ：2178 μ ）、引張強さが564.2N/mm²であった。

(2) 中間筋あり試験体

試験体の構成は、主に溶接継目、中間筋部、鉄筋部、荷重治具部の4つで構成されている。中間筋を考慮することで、溶接継目に対して偏心による曲げモーメントの影響が大きくなる。実験変数となる溶接長さは、50mm（2d）、75mm（3d）、100mm（4d）の3種類とした。これは、偏心による曲げモーメントの影響を考慮して、「中間筋なし試験体」よりやや長い範囲を計画した。

溶接方法や試験体数（各3体、合計9体）などは、「中間筋なし試験体」と同じとした。溶接幅は、実測の結果、約9.9mm以上であった。なお、使用した鉄筋は、材料試験の結果（平均値）、降伏強度が384.1N/mm²（降伏ひずみ：2036 μ ）、引張強さが566.5N/mm²であった。

(3) 試験体名

ここで、試験体名についてであるが、鉄筋の呼び名の数値に対する溶接長さの比と通し番号、さらに中間筋の

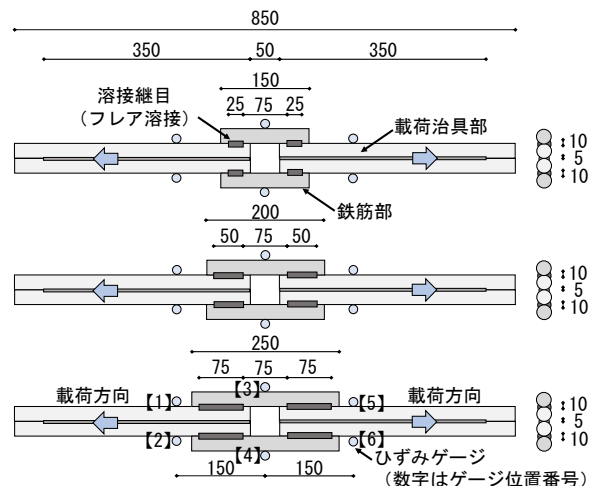


図-2 中間筋なし試験体（上から「1d試験体」、「2d試験体」、「3d試験体」）の概要

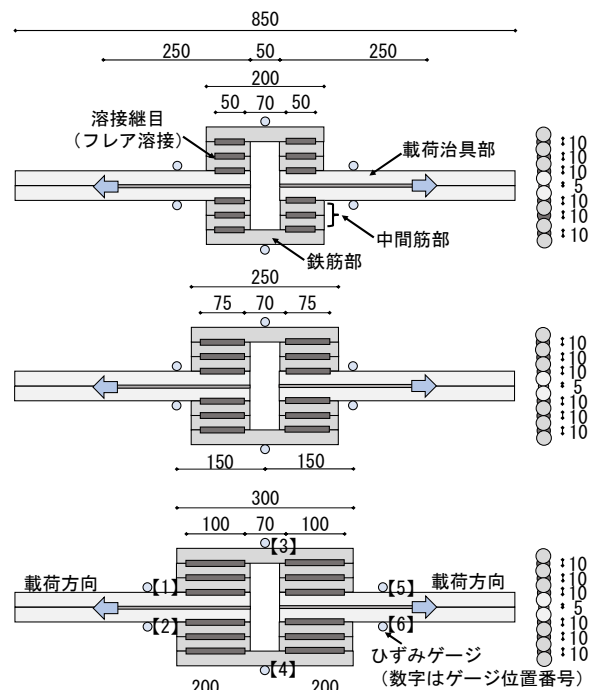


図-3 中間筋あり試験体（上から「1d試験体」、「2d試験体」、「3d試験体」）の概要

有無を用いて表している。たとえば、溶接長さ50mmの1体目を「中間筋なし」の場合では「2d-1」、「中間筋あり」の場合では「2dE-1」と示す。なお、溶接長さが同じ試験体を3体まとめて呼ぶときは、通し番号を表示しないものとした。たとえば、「中間筋あり」で、溶接長さ50mmを3体まとめて呼ぶ場合は、「2dE試験体」と示す。

2.2 荷重・計測方法

実験は、荷重治具部の両端を一方に引張る試験である（単調引張試験）。これにより、溶接継目にせん断力、および、偏心による曲げモーメント、さらに鉄筋部に引張力を作用させることとした。なお、荷重は、溶接継目や鉄筋部が破断し、荷重が保持できなくなるまで実施する計画とした。ひずみゲージ位置は、鉄筋部に2点（図

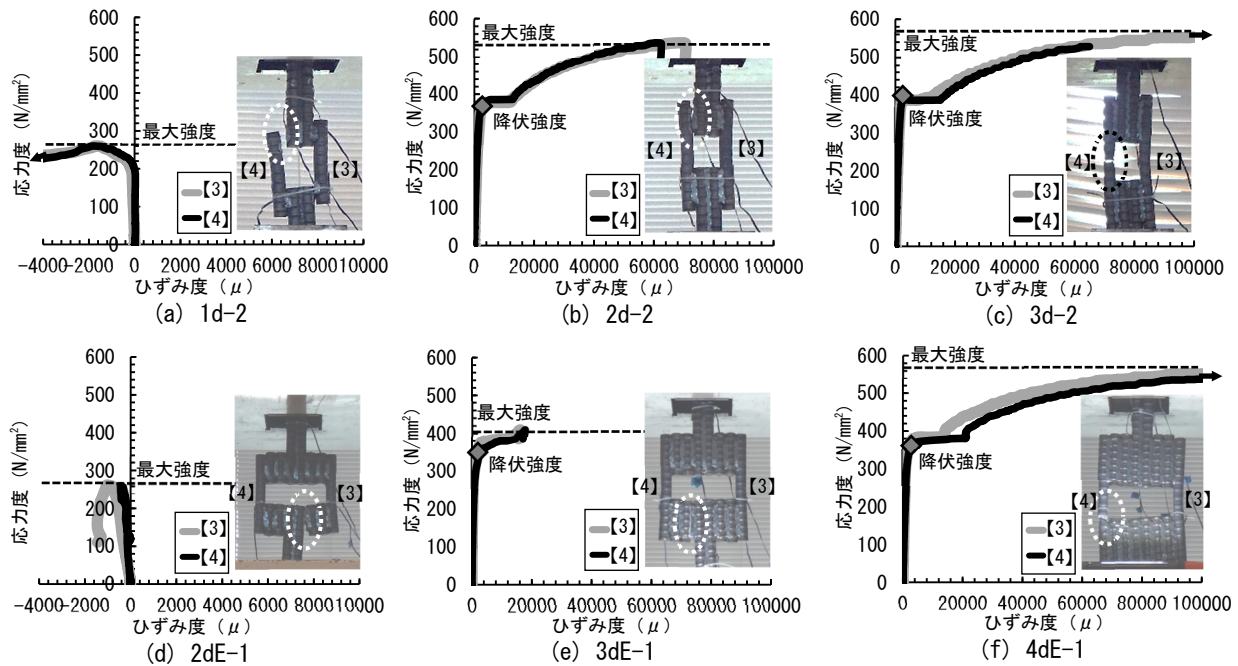


図-4 鉄筋部の応力度-ひずみ度関係および破壊の様子

-2, 図-3 中, [3], [4] 位置, 試験体中央の位置), 載荷治具部に 4 点 (図-2, 図-3 中, [1], [2], [5], [6] 位置, 試験体中央から 150mm または 200mm の位置), それぞれ鉄筋の外側 (リブの位置) とした。

2.3 実験結果

実験結果の概要を表-1 に併せて示す。ここで, 一例として, 「1d-2」および「2d-2」, 「3d-2」, 「2dE-1」, 「3dE-1」, 「4dE-1」の鉄筋部の応力度-ひずみ度関係 (ひずみゲージ [3], [4], 横軸: 正側が引張ひずみ, 負側が圧縮ひずみ) と破壊の様子 (実験終了後) を図-4 に示す。応力度は, 試験機から得られた荷重を鉄筋部の断面積 ($507\text{mm}^2 \times 2$ 本) で除した値であり, 最大強度: σ_u はその最大値である。本実験の破壊モードは, 大別するとフレア溶接が破断することによって荷重が急激に低下する「溶接型」と, 鉄筋部の破断によって荷重が急激に低下する「鉄筋型」の 2 つに分類できた。以下, 実験シリーズごとに, 実験結果の概要を示す。

(1) 中間筋なし試験体

「1d-2」は, 応力度が大きくなると圧縮ひずみとなる。これは, 溶接長さが短くなると鉄筋部の端部の拘束力が弱くなるため, 鉄筋部が曲げの影響を受けているからである。一方, 「2d-2」および「3d-2」は, 応力度にかかわらず引張ひずみとなり, 明瞭な降伏棚 (剛性が大きく低下) や, ひずみ硬化がみられる。ここで, 後述の議論のため, 降伏棚がみられたとき (剛性が大きく低下したとき) の応力度を降伏強度: σ_y と定義する。降伏強度は, 「2d 試験体」および「3d 試験体」のすべての試験体で得られた (表-1 参照)。なお, 応力度-ひずみ度関係は, 溶接長さが同じ試験体では, 同様の傾向であった。

各試験体の破壊の様子は, 「1d-2」と「2d-2」では鉄筋部と載荷治具部間のフレア溶接が破断している。破壊モードは「溶接型」である。一方, 「3d-2」では鉄筋部が破断している。破壊モードは「鉄筋型」である。なお, 溶接長さが同じ試験体では, 破壊の様子は, 同様の傾向であった。

(2) 中間筋あり試験体

「2dE-1」は, 応力度が大きくなると圧縮ひずみとなる (前述した「1d-2」と同じ理由である)。一方, 「3dE-1」や「4dE-1」は, 応力度にかかわらず引張ひずみとなり, 降伏棚がみられ (剛性が大きく低下), さらに「4dE-1」では, ひずみ硬化がみられる。降伏強度は, 「3dE 試験体」および「4dE 試験体」のすべての試験体で得られた (表-1 参照)。なお, 溶接長さが同じ試験体では, 応力度-ひずみ度関係は, 同様の傾向であった。

各試験体の破壊の様子は, 「2dE-1」および「3dE-1」では, 中間筋部と載荷治具部間のフレア溶接が破断している。破壊モードは, どちらも「溶接型」である。一方, 「4dE-1」は鉄筋部が破断している。破壊モードは「鉄筋型」である。なお, 破壊の様子は, 溶接長さが同じ試験体では, 同様の傾向であった。

3. 溶接長さと各強度および破壊モードの関係

本章では, 実験結果より, 溶接長さと各強度および破壊モードの関係について, 実験シリーズごとに検討する。

3.1 中間筋なし試験体

各試験体における溶接長さと最大強度, および, 降伏強度, さらに破壊モードとの関係を図-5 に, 使用した鉄筋 (母材) の材料試験の結果 (平均値) および規格引

張強さと伴に示す(図-5中、破線、引張強さ:564N/mm², 降伏強度:386N/mm², 規格引張強さ:490N/mm²)。なお、予測値 wq_s [570], wq_s [490] の直線および 0.25 D_o , 0.5 D_o の曲線については後述する。

(1) 溶接長さと最大強度および降伏強度の関係

実験で得られた各試験体の最大強度(平均値)を母材の引張強さと比較すると、溶接長さ:1 d (25mm)が約0.46倍、同:2 d (50mm)が約0.93倍、同:3 d (75mm)が約1.00倍である。最大強度は、2 d では母材よりもやや小さい程度であり、3 d では母材と同じ値である。すなわち、最大強度は、溶接長さが2 d 以上であれば、母材の引張強さとほぼ同程度になると考えられる。なお、溶接長さが1 d では、最大強度が母材の降伏強度にも達していない。

実験で得られた降伏強度(平均値)を母材の降伏強度と比較すると、溶接長さ:2 d (50mm)が約0.98倍、同:3 d (75mm)が約0.96倍である。降伏強度は、溶接長さが2 d および3 d では、母材の降伏強度とほぼ同じ値である。すなわち、降伏強度は、溶接長さが2 d 以上であれば、母材の降伏強度とほぼ同程度になると考えられる。

(2) 溶接長さと破壊モードの関係

破壊モードは、溶接長さ:1 d と2 d (前者:25mm, 後者:50mm)のすべての試験体が「溶接型」、同:3 d (75mm)のすべての試験体が「鉄筋型」である。破壊モードは、溶接長さが長くなると「鉄筋型」となる。なお、破壊モードの境界は、2 d と3 d の間にあることが想定される。

3.2 中間筋あり試験体

各試験体における溶接長さと最大強度、および、降伏強度、さらに破壊モードとの関係を図-6に、使用した鉄筋(母材)の材料試験の結果(平均値)および規格引張強さと伴に示す(図-6中、破線、引張強さ:567N/mm², 降伏強度:384N/mm², 規格引張強さ:490N/mm²)。なお、予測値 wq_s [570], wq_s [490] の直線および 1.0 D_o ~2.5 D_o の曲線については後述する。

(1) 溶接長さと最大強度および降伏強度の関係

実験で得られた各試験体の最大強度(平均値)を母材の引張強さと比較すると、溶接長さ:2 d (50mm)が約0.45倍、同:3 d (75mm)が約0.68倍、同:4 d (100mm)が約0.98倍である。ここで、溶接長さ:3 d の最大強度(平均値)を母材の降伏強度と比較すると、約1.00倍であった。すなわち、最大強度は、溶接長さが4 d あれば母材の引張強さと、溶接長さが3 d あれば母材の降伏強度とほぼ同程度になると考えられる。なお、溶接長さが2 d では、最大強度が母材の降伏強度にも達していない。

実験で得られた降伏強度(平均値)を母材の降伏強度と比較すると、溶接長さ:3 d (75mm)が約0.90倍、同:4 d (100mm)が約0.91倍である。降伏強度は、溶接長さが3 d や4 d の場合では、母材の降伏強度よりやや小さい

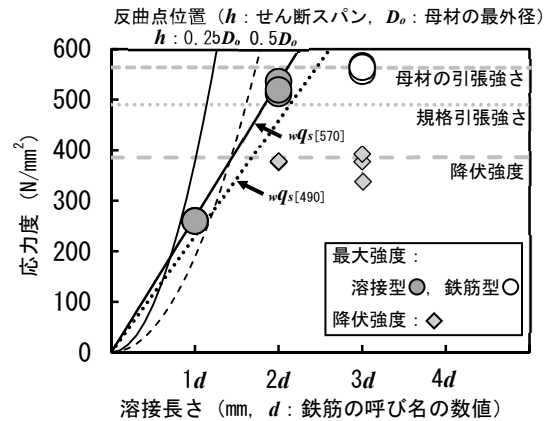


図-5 中間筋なし試験体における溶接長さと各強度、破壊モードの関係

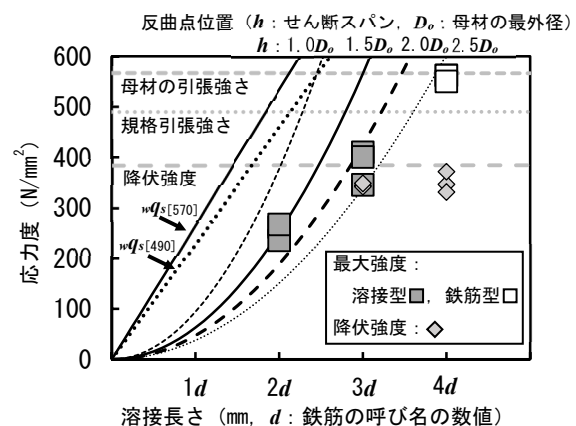


図-6 中間筋あり試験体における溶接長さと各強度、破壊モードの関係

程度である。

(2) 溶接長さと破壊モードの関係

破壊モードは、溶接長さ:2 d と3 d (前者:50mm, 後者:75mm)のすべての試験体が「溶接型」、同:4 d (100mm)のすべての試験体が「鉄筋型」である。破壊モードは、溶接長さが長くなると「鉄筋型」となる。なお、破壊モードの境界は、3 d と4 d の間にあることが予想される。

3.3 「中間筋」の有無による影響

「中間筋」の有無による影響について、「中間筋なし試験体」と「中間筋あり試験体」の比較を行う。破壊モードが同じ「溶接型」となった溶接長さ:2 d を比較してみると、「中間筋あり試験体」の最大強度は、「中間筋なし試験体」に比べて、約0.49倍となり、きわめて小さい。さらに、溶接長さ:3 d では、破壊モードを比較すると、「中間筋あり試験体」が「溶接型」である一方、「中間筋なし試験体」が「鉄筋型」である。同じ溶接長さであっても破壊モードが異なっている。

これらのように両者の結果が異なった理由として、「中間筋あり試験体」では、偏心の影響を大きく受けていたことが挙げられる。すなわち、「中間筋あり試験体」のフレア溶接は、主に曲げモーメントの影響によって破断し

たと考えられる。一方、「中間筋なし試験体」では、偏心の影響が小さく、フレア溶接は主にせん断力によって破断したと予測できる。

4. 溶接継目の最大耐力の評価

本章では、「溶接型」の試験体を対象に、フレア溶接の損傷の様相より、主たる破断の要因に分類して、溶接継目の最大耐力の算定について検討を行う。まずは、偏心の影響が小さく、せん断力によってフレア溶接が破断したと考えられる「中間筋なし試験体」を中心に溶接継目の最大せん断耐力について検討する。

4.1 最大せん断強度

(1) 算定概要

溶接継目の最大せん断耐力の算定における仮定断面 ($2a \cdot L_w$, 全断面有効と仮定) を図-7 に、算定式を式(1)～式(3)に示す。本研究では、文献2)の隅肉溶接部の最大せん断耐力算定式を参考に、鉄筋同士の溶接継目の最大せん断耐力算定式を仮定した。

(2) 有効のど厚 a の算定方法

のど厚: a は、次のように算定することとした。まず、「定着筋」および「中間筋」などを直径がそれらの最外径である円とみなす。ついで、それらの円が隣り合わせに接した状態で、最外径の円周上の点における距離が溶接幅: W_b となる位置からリブ端までの長さとして仮定した。このように仮定した理由は、実測の結果、1) ふし高さの外端は、最外径とする円の円周上と概ね同じ位置であるとみなせる、2) 溶接幅: W_b は、「定着筋のふし」と「中間筋のふし」の距離において10mm以上である、3) 「定着筋のリブ」と「中間筋のリブ」を隣り合わせた部分は、十分に溶接されていないところがある、ことからである。

本研究では、溶接幅: W_b を10mm(実測の最小値)、リブの幅: r を5mmと一定値に仮定した。なお、リブの幅: r の値は、本研究で使用した鉄筋のリブの幅を実測した結果、約5mmであったからである。ここで、式(2)より、のど厚: a を算定した結果 (D_o : 28mm), 約8.2mmであった。他方、「溶接型」となった「中間筋なし試験体」を対象に、フレア溶接の破断面を実測した結果、のど厚: a が約8.0~9.5mmであった。本研究におけるのど厚: a の算定方法は、概ね妥当であると考えている。

(3) 実験値と予測値の比較

「溶接型」となった「中間筋なし試験体」の最大強度(実験値)と予測値の比較を図-5に併せて示す。ここで、 F_u には、母材の規格引張強さ(下限値: 490N/mm², 図-5中 wq_s [490]の破線), および、溶接ワイヤーの規格引張強さ(570N/mm², 図-5中 wq_s [570]の実線)を用いた。なお、予測値は、式(1)で算出される値 (wq_s の値×2) を鉄筋部の断面積 (507mm²×2本) で除した値である。

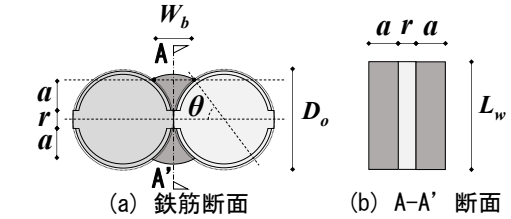


図-7 最大耐力算定用の仮定断面の概要
 $2a \cdot L_w$: 最大耐力算定用の仮定断面, a : 有効のど厚,
 L_w : 溶接長さ, W_b : ビート幅, D_o : 母材の最外径, r : リブ幅

$$wq_s = 2 \cdot L_w \cdot a \cdot \frac{F_u}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

$$a = \frac{D_o \cdot \sin \theta - r}{2} \quad (2)$$

$$\sin \theta = \sqrt{\frac{W_b}{D_o} \left(2 - \frac{W_b}{D_o} \right)} \quad (3)$$

$$wq_m = \frac{M_u}{h} \quad (4)$$

$$M_u = \sigma_y \cdot Z_p \quad (5)$$

$$Z_p = \frac{\alpha \cdot L_w}{4} \cdot 2 \quad (6)$$

ここで、 wq_s : 溶接継目の最大せん断耐力, F_u : 母材の引張強さ, wq_m : 溶接継目の最大曲げ断耐力時せん断力, h : せん断スパン(載荷治具部から反曲点までの距離), M_u : 溶接継目の最大曲げ耐力, σ_y : 降伏強度, Z_p : 塑性断面係数, その他の凡例は図-7参照

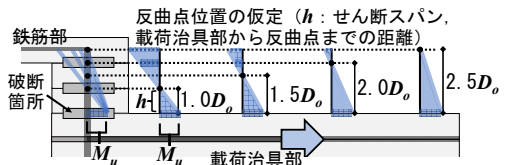


図-8 中間筋部に作用する曲げモーメントの概略

「1d試験体」および「2d試験体」の実験値(最大強度, 平均値)は、予測値に比べて、どちらの試験体も同じく、 wq_s [490]では約1.13倍, wq_s [570]では約0.98倍であった。 F_u に溶接ワイヤーの規格引張強さを用いた予測値 (wq_s [570]の値)は、実験値の最大強度(すなわち、最大せん断強度)を概ね評価できている。なお、図-5より、鉄筋の破断による破壊モードとするためには、溶接長さが約2.1d以上必要であることがわかる。

ところで、「中間筋あり試験体」についてであるが、前述した最大せん断耐力の算定方法に倣い、最大強度の評価を行った(図-6中 wq_s [490]の破線, および, wq_s [570]の実線)。「溶接型」となった「2d試験体」をみると、最大強度は、予測値 (wq_s [570]の値)に比べて、約0.48倍となり、きわめて小さい。さらに、予測値によると溶接長さが2dと3dの間で「溶接の破断」から「母材の破断」となることが予想される。一方、実験結果によると、3dと4dの間で「溶接型」から「鉄筋型」となった。すなわち、前述したように、「中間筋あり試験体」では、中間筋を考慮したことで、溶接継目は偏心による曲げモーメントの影響を大きく受けている。そこで、次節では、溶接継目

に曲げの影響を考慮して、最大耐力の検討を試みた。

4.2 最大曲げ強度

本節では、「中間筋あり試験体」を中心に溶接継目の最大曲げ耐力の算定を試みる。

(1) 算定概要

溶接継目の最大曲げ耐力算定用の仮定断面は、前述の最大せん断耐力と同じ断面とした。すなわち、溶接継目の最大曲げ耐力は、この仮定断面の全塑性モーメントを用いて算定することとした(式(4)～式(6))。ここで、4.1節同様に、溶接幅： W_b を10mm(「中間筋あり試験体」の実測値の最小値約9.9mm)、リブの幅： r を5mm、有効のど厚： a を8.22mmとした。

(2) 反曲点位置の仮定

ところで、「溶接型」となった「中間筋あり試験体」の破断箇所は、すべて載荷治具部と中間筋部間の溶接継目であった(図-4参照)。ここで、本研究の試験体のようにコンクリート内に埋設されていない状況では、載荷治具部(鉄筋2本をフレア溶接)と鉄筋部(鉄筋1本)の剛性の違いを考慮すると、中間筋部に作用する曲げモーメントの反曲点位置が鉄筋部のほうによることが想定される(図-8参照)。

紙面の都合上詳細は割愛するが、このことは、簡易的な弾性骨組解析により、溶接長さが長くなると、反曲点位置が鉄筋部のほうによることを確認している。そこで、後述の実験値と予測値の比較では、中間筋部に作用する曲げモーメントの反曲点位置は、つぎの4つを仮定した。すなわち、載荷治具部から反曲点までの距離(h :せん断スパン)は、 $1.0D_o$ 、および、 $1.5D_o$ 、 $2.0D_o$ 、 $2.5D_o$ とした。

(3) 実験値と予測値の比較

載荷治具部と中間筋部間の溶接継目が最大曲げ耐力となったときの引張荷重(σ_{qm} の値 $\times 2$)を鉄筋部の断面積($507\text{mm}^2 \times 2$ 本)で除して算出した予測値を図-6に併せて示す($1.0D_o$ ～ $2.5D_o$ の曲線)。なお、本研究では、式(5)の σ_y には、溶接ワイヤーの規格耐力(520N/mm^2)を用いた。「2dE試験体」の実験値(平均値)は、予測値に比べて、せん断スパン： h が $1.0D_o$ のとき約0.68倍、同 $1.5D_o$ のとき約1.01倍、同 $2.0D_o$ のとき約1.35倍、同 $2.5D_o$ のとき約1.69倍である。予測値は、 $h:1.5D_o$ のときがもっとも実験値に近い値となる。

一方、「3dE試験体」の実験値(平均値)は、予測値に比べて、せん断スパン： h が $1.0D_o$ のとき約0.45倍、同 $1.5D_o$ のとき約0.68倍、同 $2.0D_o$ のとき約0.91倍、同 $2.5D_o$ のとき約1.14倍である。予測値は、 $h:2.0D_o$ のときがもっとも実験値に近い値となる。以上の結果より、予測値は、溶接長さが長くなると、反曲点位置を鉄筋部よりに仮定したほうが実験値に近い値となる。すなわち、本実験における溶接継目の最大曲げ強度は、中間筋部の反曲

点位置の移動を考慮すれば、概ね評価できそうである。

図-6より、破壊モードの境界は、 $3d$ から $4d$ の間にあることが予測値からも想定される。ところで、実際の杭頭部は、コンクリートの中にあるため、本実験のように溶接長さによって反曲点位置が大きく移動する可能性が低いと考えられる。すなわち、反曲点位置は「中間筋部」の中央付近にあり(たとえば、 $1.0D_o$ や $1.5D_o$)、破壊モードの境界は、「中間筋なし試験体」のように、 $2d$ から $3d$ の間になると推測される。

ここで、「中間筋なし試験体」に対して、載荷治具部と鉄筋部の溶接継目が最大曲げ耐力となったときの引張荷重(σ_{qm} の値 $\times 2$)を鉄筋部の断面積($507\text{mm}^2 \times 2$ 本)で除して算出した予測値を図-5に併せて示す($0.25D_o$ 、 $0.5D_o$ の曲線)。なお、載荷治具部から反曲点までの距離(せん断スパン： h)は、 $0.25D_o$ 、および、 $0.5D_o$ を仮定した。ひずみゲージの値より(図-4参照)、鉄筋部が曲げの影響を受けていたことから、反曲点位置は、 $h:0.5D_o$ よりも $0.25D_o$ のほうが近いと考えられる($0.5D_o$ では鉄筋部の曲げモーメントがゼロとなる)。すなわち、図-5より、「1d試験体」は、せん断力によってフレア溶接が破断したことが、予測値からも推定できる($\sigma_{qs[570]}$ の値のほうが小さい)。

5. まとめ

コンクリート内に埋設されていない状況でのフレア溶接鉄筋の引張試験(D25, SD345, 溶接幅10mmとした単調引張試験)より、得られた知見を以下に示す。

- (1) 溶接継目の最大せん断強度および降伏強度は、溶接長さが $2d$ 以上であれば、前者が母材の引張強さ、後者が母材の降伏強度とほぼ同程度であった。
- (2) 中間筋がない溶接継目の最大せん断強度は、 F_u に溶接ワイヤーの規格引張強さを用いた式(1)により、評価することができた。一方、中間筋がある溶接継目は、曲げの影響を考慮した式(5)により、概ね評価することができた。
- (3) 破壊モードは、溶接長さが長くなると「溶接型」から「鉄筋型」となった。これら破壊モードの境界は、せん断力によってフレア溶接が破断する場合(中間筋がない場合)、溶接長さが $2d$ と $3d$ の間となった。

参考文献

- 1) 加倉井正昭, 毛井崇博, 他7名:フレア溶接鉄筋を用いた杭頭部の定着性能 その1 試験概要と変形性能, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I, pp.439-440, 2022.9.
- 2) 日本建築学会:溶接接合設計施工ガイドブック, 2020.12.