

論文 Y字型定着体をもつ鉄筋アンカーボルトの引抜き挙動

磯 雅人*1・中野 克彦*2・山下 健司*3・中村 淳*3

要旨: 本論文は、Y字型定着体を持つ鉄筋アンカーボルトの引抜き挙動を明らかにしたものである。Y型アンカーに使用した鉄筋はD25(SD345)を、コンクリートの設計基準強度(Fc)は18N/mm²とした。変動要因は埋込長さ(L)を5水準、へりあきの有・無である。へりあき無の試験体は埋込長さが長くなるに従い、耐力が向上し、破壊モードはコーン状破壊から付着破壊、そして本体破断へと移行した。一方、へりあき有の試験体の耐力は埋込長さが長くなるに従い耐力が向上するが、へりあき無の耐力に比べて低い傾向が認められた。また、その破壊モードは全てコーナー部の割裂破壊であった。

キーワード: 鉄筋アンカーボルト, Y字型定着体, 引抜き挙動, 埋込長さ, へりあき, 破壊モード

1. はじめに

各種合成構造設計指針・同解説(以下、各種合成指針)¹⁾では、RC構造またはSRC構造に設備機器類およびその支持構造物を据え付ける際の先付け工法のアンカーボルトとして、頭付きアンカーボルト、鉄筋アンカーボルト、基礎アンカーボルトが示されている。本研究で使用した先付けアンカーボルトは、それとは異なり、異形棒鋼の片方の端部を開角60°に割り裂き、Y字状とした定着端部(以下、Y字型定着体)を設けたアンカーボルト(以下、Y型アンカー)である。もう片方の端部は、めねじ加工が施されたものであり、接合筋を接合して利用する

めねじ型のタイプである。そのため上記で述べた鉄筋アンカーボルト(異形棒鋼の先端に180°折り曲げ定着による標準フックをつけたもの)とは異なる。しかしながら、Y字型定着体の定着性能およびその抵抗メカニズムは不明であり、とくにコンクリート強度が低い場合の挙動は不明である。そこで、本研究では、コンクリートの圧縮強度を18N/mm²程度とし、変動要因を埋込長さおよびへりあきの有・無としたY型アンカーの引抜き試験を行い、その破壊性状、変形状、引抜き耐力を明らかにすると同時に、耐力の評価方法およびその抵抗メカニズムについて検討することを目的とした。

表-1 試験体ならびに実験および計算結果一覧

No.	試験体名	有効埋込長さ=直線部の埋込長さ le(mm)	埋込長さ L(mm)	へりあきの有無	+1cycle 長期許容引張力 ¹⁾ σPa(kN)	+2cycle 短期許容引張力 ¹⁾ σPa(kN)	+3cycle 引張耐力 ¹⁾ Pu(kN)	最大耐力 ePmax(kN)	実験値
									最終破壊状況 * * 定着部: Y字型定着体を意味する。
11-1	D25_Yio-Fc18-4d-B-1	2d	4d	無	5.2	10.3	15.5	55.8	コーン状破壊
11-2	D25_Yio-Fc18-4d-B-2	50	100	無	コーン状破壊*	コーン状破壊*	コーン状破壊*	51.0	コーン状破壊
12-1	D25_Yio-Fc18-4d-Bc-1	2d	4d	有	5.2	10.3	15.5	38.5	コーナー部割裂破壊
12-2	D25_Yio-Fc18-4d-Bc-2	50	100	有	コーン状破壊*	コーン状破壊*	コーン状破壊*	36.0	コーナー部割裂破壊
13-1	D25_Yio-Fc18-5d-B-1	3d	5d	無	10.3	20.7	31.0	66.5	コーン状破壊
13-2	D25_Yio-Fc18-5d-B-2	75	125	無	コーン状破壊*	コーン状破壊*	コーン状破壊*	84.8	コーン状破壊
14-1	D25_Yio-Fc18-5d-Bc-1	3d	5d	有	9.7	19.3	29.0	46.8	コーナー部割裂破壊
14-2	D25_Yio-Fc18-5d-Bc-2	75	125	有	コーン状破壊*	コーン状破壊*	コーン状破壊*	42.0	コーナー部割裂破壊
15-1	D25_Yio-Fc18-6d-B-1	4d	6d	無	17.2	34.4	51.6	97.3	付着破壊(定着部**): 両側破断)
15-2	D25_Yio-Fc18-6d-B-2	100	150	無	コーン状破壊*	コーン状破壊*	コーン状破壊*	96.7	付着破壊(定着部**): 片側破断)
16-1	D25_Yio-Fc18-6d-Bc-1	4d	6d	有	13.4	26.8	40.2	55.5	コーナー部割裂破壊
16-2	D25_Yio-Fc18-6d-Bc-2	100	150	有	コーン状破壊*	コーン状破壊*	コーン状破壊*	55.8	コーナー部割裂破壊
17-1	D25_Yio-Fc18-8d-B-1	6d	8d	無	36.2	72.3	108.5	136.7	付着破壊(定着部**): 片側破断)
17-2	D25_Yio-Fc18-8d-B-2	150	200	無	コーン状破壊*	コーン状破壊*	コーン状破壊*	127.8	付着破壊(定着部**): 片側破断)
18-1	D25_Yio-Fc18-8d-Bc-1	6d	8d	有	21.6	43.3	64.9	72.8	コーナー部割裂破壊
18-2	D25_Yio-Fc18-8d-Bc-2	150	200	有	コーン状破壊*	コーン状破壊*	コーン状破壊*	73.5	コーナー部割裂破壊
19-1	D25_Yio-Fc18-10d-B-1	8d	10d	無	62.0	121.8	121.8	168.3	本体破断(ネジ境界部)
19-2	D25_Yio-Fc18-10d-B-2	200	250	無	コーン状破壊*	ボルトの降伏強度*	ボルトの降伏強度*	167.2	本体破断(ネジ境界部)
20-1	D25_Yio-Fc18-10d-Bc-1	8d	10d	有	31.5	63.0	94.4	93.8	コーナー部割裂破壊
20-2	D25_Yio-Fc18-10d-Bc-2	200	250	有	コーン状破壊*	コーン状破壊*	コーン状破壊*	90.3	コーナー部割裂破壊

■ 共通要因 ■
 ・インサートの呼び径(材種): D25(SD345)
 ・コンクリート圧縮強度: Fc=18N/mm²
 ■ その他の仕様 ■
 ・雌ネジ部の有効長さ: S=40mm (No.13~No.20 M16×2.0並目ネジ)
 ・雌ネジ部の有効長さ: S=35mm (No.11~No.12 M16×2.0並目ネジ)

■ 試験体名 ■
 D25_Yio-Fc18-4d-B-1
 ① ② ③ ④ ⑤
 ①アンカーのタイプ D25_Yio: D25のYインサート(冷間せん断)
 ②コンクリートの実圧縮強度 Fc18: 材齢28日時のコンクリートの実圧縮強度
 ③アンカーの埋込長さ(L) 4d: 100mm 5d: 125mm 6d: 150mm 8d: 200mm 10d: 250mm dは鉄筋の呼び径で25mm
 ④へりあきの有無 B: へりあき無 Bc: へりあき有
 ⑤試験体番号 1, 2: 同一試験体を2本実施するため、試験体を区別するための番号

*: 数値の下段の「ボルトの降伏強度」は式(2)で決定した場合であり、「コーン状破壊」は式(3)で決定した場合である。

*1 福井大学 工学部建築・都市環境工学科教授 博士(工学) (正会員)

*2 千葉工業大学 創造工学部建築学科教授 博士(工学) (正会員)

*3 ジャパンライフ(株)

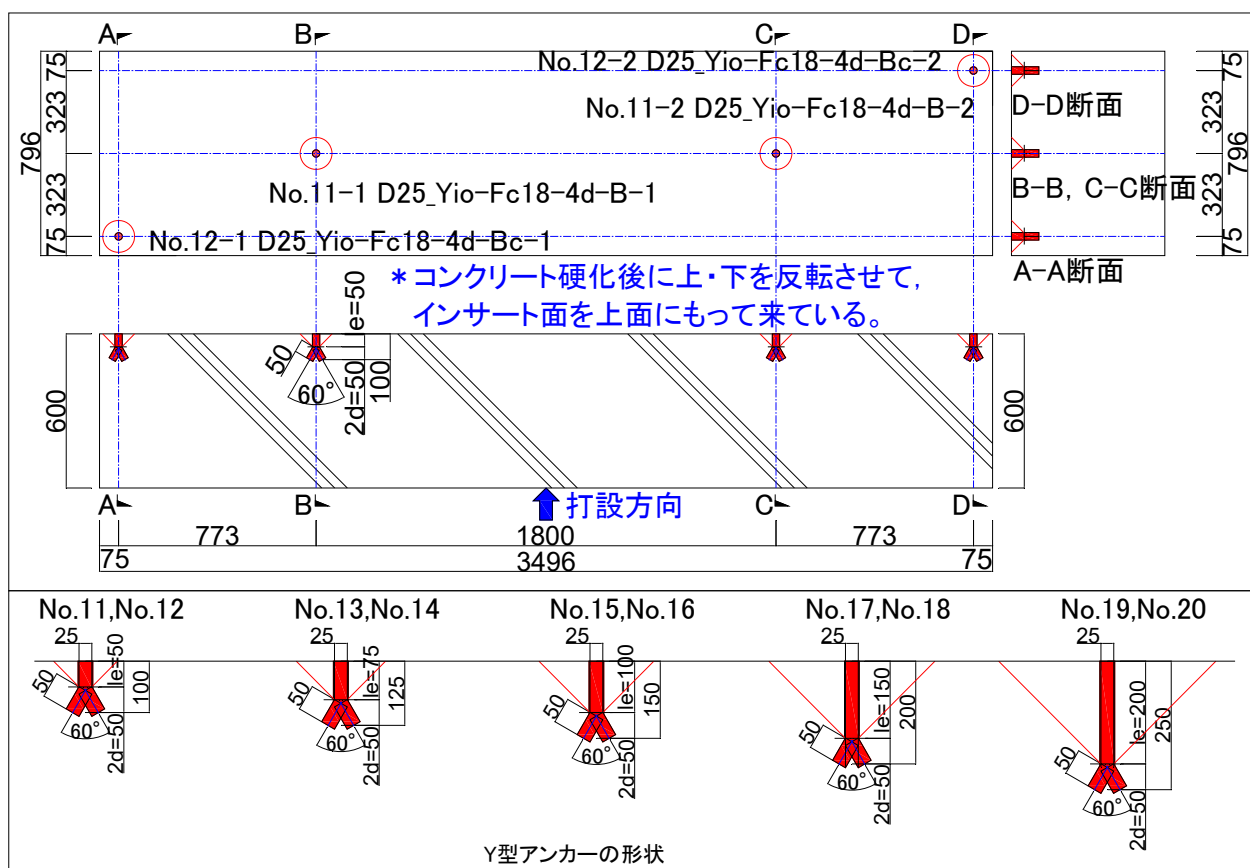


図-1 試験体形状図

2. 実験概要

2.1 試験体

表-1 に試験体ならびに実験および計算結果一覧を、図-1 に試験体形状図を示す。試験体の共通要因であるが、Y型アンカーに使用する異形棒鋼の呼び径（材種）はD25（SD345）、鉄筋表面は電気亜鉛メッキ（有色クロメート3級）とした。使用したコンクリートの設計基準強度（ F_c ）は $F_c=18\text{N/mm}^2$ とした。ただし、材齢28日のコンクリートの圧縮強度は、実強度が 18N/mm^2 となるように試練りを行い、調合設計されたものである。変動要因は埋込長さ（ L ）、へりあきの有・無の2要因である。埋込長さ（ L ）は $4d=100\text{mm}$ 、 $5d=125\text{mm}$ 、 $6d=150\text{mm}$ 、 $8d=200\text{mm}$ 、 $10d=250\text{mm}$ （ここに、 d は鉄筋の呼び径25mm）の5水準とした。なお、本Y型アンカーの埋込部は直線部と異形棒鋼の端部を冷間せん断により割り裂き、Y字状としたY字型定着体より構成される。直線部の埋込長さは、埋込長さ（ L ）から $2d=50\text{mm}$ を差し引いたものであり、有効埋込長さ（ $l_e=L-2d$ ）と呼ぶことにする。また、Y字型定着体の埋込長さは、直線部とY字型定着部の境界からY字先端部の軸芯位置までの距離と定義し、 $2d=50\text{mm}$ とした。次に、へりあきの有・無の2水準の仕様であるが、へりあき有の試験体（試験体名称Bc）は、図-1の試験体形状図に示すようにへりあき面が2面の隅面へりあき（コーナー）の試験体である。なお、Y型

アンカーの設置位置であるが、各種合成指針¹⁾鉄筋アンカーボルトの仕様規定（pp.248に記述）である「コンクリート躯体のへりあきに対する鉄筋アンカーボルトのへりあき寸法およびはしあき寸法は、アンカーボルトの径 d の3倍以上とする。」ことが示されており、その下限を採用し、へりあき寸法 $c_1=c_3=3d=75\text{mm}$ に配置することとした。一方、へりあき無の試験体（試験体名称B）のアンカーの設置位置は、へりあきによるコーン状破壊耐力や付着破壊耐力に影響しないように、 $10d$ 以上のへりあき寸法 c および $20d$ 以上の鉄筋間隔 a を確保するように配置する計画とした。以上より、へりあき無の試験体の配置は $c=15.9d=398\text{mm}$ 、 $a=33.5d=838\text{mm}$ とした。

以上、埋込長さ（ L ）の5水準、へりあきの有・無の2水準の組み合わせで計10種類の試験体となる。ただし、試験体のばらつきを考慮し、同一仕様の試験体を各2体製作し、計20体の試験体とした。

表-2にY型アンカーに使用した異形棒鋼の力学的特性を、表-3にY型アンカーを埋込むコンクリートの力学的特性を示す。Y型アンカーに使用した異形棒鋼はD25（SD345）である。なお、表-2中の値は、ミルシートにより示された値を平均したものである。使用したコンクリートの種類は普通18-18-20-Nとし、適用範囲の下限値： 18N/mm^2 を本研究の目標圧縮強度（材齢28日）とした。

表-2 Y型アンカーに使用した異形棒鋼の力学的特性

試験体No.	鉄筋の呼び径・種類	降伏点* (N/mm ²)	引張強さ* (N/mm ²)	伸び* (%)
No.11, No.12	D25 (SD345)	393	577	27
No.13, No.14		391	588	28
No.15, No.16		387	553	24
No.17, No.18		409	574	21
No.19, No.20		397	565	24

* 降伏点, 引張強さ, 伸びの値は, ミルシートに記載された値を平均したものである。

表-3 コンクリートの力学的特性

材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)	圧縮強度時の歪度 (μ)	ヤング係数 × 10 ⁴ (N/mm ²)	ポアソン比
28	16.3	1.79	1860	2.23	0.163
53~70	19.1	2.07	2180	2.07	0.151

養生: 現場封緘養生 コンクリートの種類: 普通18-18-20-N

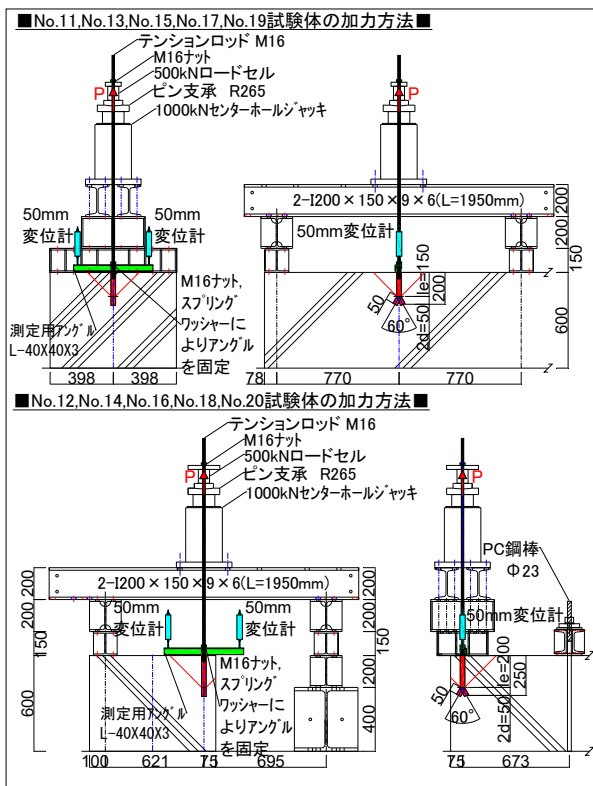


図-2 加力装置図 (上: へりあき無, 下: へりあき有)

2.2 加力方法

図-2に加力装置図を示す。引抜き力の導入は M16 のテンションロッドを Y 型アンカーのめねじにねじ込み, 1000kN のセンターホールジャッキにより実施した。また, その反力をとるための鉄骨架台はアンカーの引抜き挙動を拘束しない配置とした。計測は荷重 P を 500kN のロードセルにより行った。Y 型アンカーのコンクリート表面からの抜け出し変位は, テンションロッドに測定用のアングル (L-40×40×3) を固定し, その両端に 50mm の変位計を設置し, その平均値を抜け出し変位 (δ) とした。

加力は一方方向の漸増繰返し載荷とし荷重制御により行った。+1 サイクル目は式(1)による長期許容引張力 ($L_P a$)



コーン状破壊 コーン状破壊
No.11-2 D25_Yio-Fc18-4d-B-2 No.13-1 D25_Yio-Fc18-5d-B-1



付着破壊 (定着部: 片側破断)
No.17-2 D25_Yio-Fc18-8d-B-2



本体破断 (ネジ境界部)
No.19-2 D25_Yio-Fc18-10d-B-2



コーナ一部割裂破壊
No.12-2 D25_Yio-Fc18-4d-Bc-2 No.20-1 D25_Yio-Fc18-10d-Bc-1
写真-1 最終破壊状況の一例

の引張力を導入し, その後は荷重を 0 まで戻した。同様に, +2 サイクル目は式(1)による短期許容引張力 (sPa) の引張力を導入し, その後は荷重を 0 まで戻した。+3 サイクル目は, 式(2), 式(3)の低減係数 $\Phi_1 = \Phi_2 = 1.0$ として式(1)により計算した引張耐力 (P_u) の引張力を導入し, その後は荷重を 0 まで戻した。なお, 以下の式(1), (2), (3)

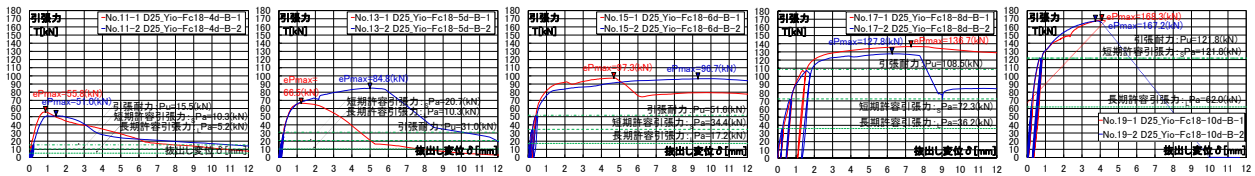


図-3 引張力 (T) - 拔出し変位 (δ) 関係 (へりあき無試験体)

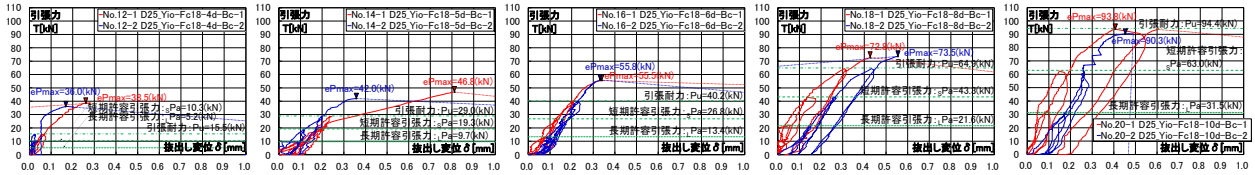


図-4 引張力 (T) - 拔出し変位 (δ) 関係 (へりあき有試験体)

は、各種合成指針¹⁾の鉄筋アンカーボルトの式 (pp.246-247 に記述) を適用して計算を行った。ここに、式(2)の Y 型アンカーの断面積 (sc_a) は実務上、ねじ込む M16 のボルトの有効断面積を入力すべきであるが、ここでは、D25 の Y 型アンカーに M24 のおねじが切られた Y 型アンカーボルトの許容引張力時の性状を確認する意味で、M24 の並目ねじの有効断面積を採用した。

$$lPa, sPa, Pu = \min(p_{a1}, p_{a2}) \quad (1)$$

ただし、

$$p_{a1} = \Phi_1 \cdot s_{\sigma pa} \cdot sc_a \quad (2)$$

$$p_{a2} = \Phi_2 \cdot c_{\sigma t} \cdot A_c \quad (3)$$

ここに、

s_{σpa} : Y 型アンカーの引張強度 (=s_{σy}) ここに、規格降伏点強度 s_{σy} は、SD345 の規格降伏点 345N/mm² を採用

sc_a : Y 型アンカーの断面積 ここでは、D25 のおねじタイプを想定し、M24 の並目ねじの有効断面積 : sc_a=353mm² を採用

c_{σt} : コーン状破壊に対する引張強度 (=0.31√Fc) ここに、コンクリート設計基準強度 Fc は、18N/mm² として計算した。

A_c : コーン状破壊面の有効水平投影面積 (へりあき無の試験体の場合 : A_c=π l_{ce}·(l_{ce}+d)により計算。ただし、へりあき有の試験体の場合は、各種合成指針¹⁾の考え方 (pp.245 に記述) に準じて、へりあき寸法を考慮した有効水平投影面積を別途、計算して算出。)

l_{ce}=l_e (有効埋込み長さ : 表-1 参照)

Φ₁, Φ₂ : 低減係数 (長期荷重用 : Φ₁=2/3, Φ₂=1/3 短期荷重用 : Φ₁=1.0, Φ₂=2/3)

+4 サイクル目は、最大耐力 (ePmax) の確認と Y 字型定着体の状況を確認するために、完全にアンカー筋が抜け切るまで加力を行った。ただし、No.20-1,2 は引張耐力 (Pu=94.4kN) の直前に最大耐力 (ePmax) を迎えたことから、そのまま加力を継続させ、荷重が完全に 0 になるまで加力を行った。

3. 実験結果および検討

3.1 破壊状況

写真-1 に最終破壊状況の一例を示す。へりあき無の試験体の最終破壊状況は、埋込長さ (L) が長くなるにつれて、コーン状破壊から定着部の破断を伴う付着破壊、そして本体破断 (破断位置 : ねじ境界部) へと移行する傾向が認められた。一方、へりあき有の試験体は、すべての試験体で、直線部と Y 字型定着体のほぼ境界位置を起点とした斜めひび割れ (すべり面) が形成されるコーナ一部割裂破壊を示した。

3.2 引張力-拔出し変位関係

図-3 にへりあき無試験体の引張力 (T) - 拔出し変位 (δ) 関係を示す。埋込長さ (L) が長くなるにつれて耐力が向上する傾向が認められた。埋込長さ (L) が短い L=4d=100mm の No.11, L=5d=125mm の No.13 はコーン状破壊した試験体であり、最大耐力 (▼) 以降は徐々に耐力を低下させる変形状を示した。一方、埋込長さ (L) がやや長い L=6d=150mm の No.15, L=8d=200mm の No.17 は付着破壊した試験体であり、最大耐力 (▼) 以降は、抜け出しながら耐力を維持する傾向が一部で認められるが、急激に耐力を低下させる箇所が存在する。これは Y 字型定着体の片側もしくは両側が破断した箇所と推察され、そのため、一気に耐力を低下させたと考えられる。埋込み長さ (L) が最も長い L=10d=250mm の No.19 は本体破断 (破断位置 : ねじ境界部) した試験体であり、最大耐力 (▼) を向かえるのと同時に、言い換えれば本体破断と同時に、一気に耐力を低下させる変形状を示した。以上より、変形状は破壊モードにより、やや異なる性状となり、破壊モードの特徴を有する変形状となることが明らかとなった。

図-4 にへりあき有試験体の引張力 (T) - 拔出し変位 (δ) 関係を示す。へりあき無試験体と同様に、埋込長さ (L) が長くなるにつれて耐力が向上する傾向が認められた。へりあき有試験体の破壊モードは、3.1 節の破壊状況でも述べたように、すべての試験体で、直線部と Y 字型定着体のほぼ境界位置を起点とした斜めひび割れ

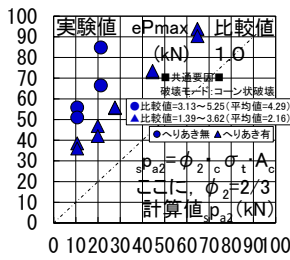


図-5 ePmax - PsA2 の比較

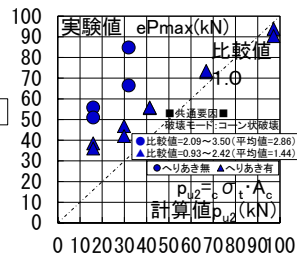


図-6 ePmax - Pu2 の比較

(すべり面)が一気に形成される脆性的なコーナー部割裂破壊を示した。変形形状もその特徴を表しており、最大耐力(▼)を向かえるのと同時に、言い換えれば割裂したと同時に、一気に耐力を低下させる脆性的な変形形状を示した。

3.3 コーン状破壊耐力の実験値と計算値との比較

図-5 にコーン状破壊した試験体の最大耐力実験値(ePmax)と式(3)による定着したコンクリート躯体のコーン状破壊により定まる場合の鉄筋アンカーボルト1本当たりの短期許容引張力を採用した計算値(PsA2)との比較を示す。なお、計算に際しては、コンクリート設計基準強度(Fc)は表-3 に示した実験時材齢の実圧縮強度19.1N/mm²を、有効埋込み長さ(l_e)は180°折曲げ定着による標準フック付き鉄筋アンカーボルトの考え方を踏襲し、直線部の埋込み長さ(表-1 参照)を用いて計算を行った。また、へりあき有の試験体はコーナー部割裂破壊を示したがコーン状破壊として扱い計算を行いプロットした。

図-5 より、式(3)による計算値は最大耐力実験値を安全側に評価する傾向が認められた。へりあき無試験体(●印)の比較値(=実験値/計算値)は3.13~5.25の範囲であり、その平均値は4.29であった。一方、へりあき有試験体(▲印)の比較値は1.39~3.62の範囲であり、その平均値は2.16であり、へりあき無試験体(●印)の分布と大きく異なることが明らかとなった。この要因については今後の検討であるが、隅面へりあき(コーナー)の距離が短い場合は、へりあき部に割裂ひび割れが到達した段階で最大耐力を向かえている可能性があり、そのことを考慮したコーン状破壊面の有効水平投影面積の提案も必要と考えられる。

図-6 に ePmax と式(3)の Φ₂ を 1.0 として計算した場合のコーン状破壊の終局引張耐力計算値(Pu2)との比較を示す。図-6 より、へりあき有の L=10d=250mm の試験体で危険側に評価されたが、それ以外の試験体は安全側の評価となった。へりあき無試験体(●印)の比較値は2.09~3.50の範囲であり、その平均値は2.86であった。一方、へりあき有試験体(▲印)の比較値は0.93~2.42の範囲であり、その平均値は1.44であり、へりあき無試験体(●印)に比較して、危険側の方向にシフトする傾

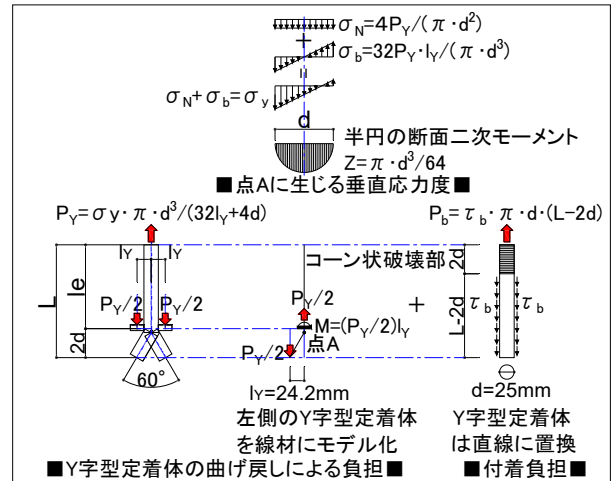


図-7 付着破壊耐力式を導出するためのモデル化

向が認められた。なお、へりあきの有・無による分布の違いは上記でも示した通り、今後の検討としたい。

3.4 付着破壊耐力の実験値と計算値との比較

図-7 に付着破壊耐力式を導出するためのモデル化を示す。付着破壊した No.15-1,2, No.17-1,2 の Y 字型定着体は、片側もしくは両側が破断していたことから、Y 字型定着体が抜け出す過程で、曲げ戻されて破断したと推察される。そのため、図-7 の左、中央の図に示した抵抗モデルを考え、引張力 Py により、Y 字型定着体が支圧(等分布荷重として仮定)され、その支圧力(Py/2)により、点 A には曲げモーメント(M=(Py/2)・ly) および引張力(Py/2)が生じるものとした。また、同図の上段にそのモーメント、引張力により点 A に生じる垂直応力度を示す。なお、ここでは引張側の縁応力度が降伏点(σ_y)に達した時を付着破壊時の Y 字型定着体の曲げ戻しによる引張抵抗力として下式(4)により算出することとした。

$$P_Y = \sigma_y \cdot \pi \cdot d^3 / (32l_y + 4d) \quad (4)$$

また、本 Y 型アンカーは異形鉄筋であることから、上記による曲げ戻しによる抵抗力に加え、付着による引張抵抗力も考えられる。そのため、式(5)のように付着応力度(τ_b)に、周長(π・d)、付着長さ(L-2d)を乗じて付着による引張抵抗力を算出することとした。ここに、付着破壊した試験体の付着長さは写真-1 のように先端部から約 2d (=50mm) の範囲はコーン状破壊が見られ、それより深い部分が付着抵抗していると考えられる。以上より、付着長さを L-2d とすることとした。

$$P_b = \tau_b \cdot \pi \cdot d \cdot (L-2d) \quad (5)$$

以上、付着破壊耐力式として式(4)と式(5)を累加した下式(6)を提案する。なお、計算に際して付着応力度(τ_b)は文献 2)による短期許容付着応力度を採用し検討した。

$$P_{u3} = P_Y + P_b = \sigma_y \cdot \pi \cdot d^3 / (32l_y + 4d) + \tau_b \cdot \pi \cdot d \cdot (L-2d) \quad (6)$$

ここに、

τ_b: 短期許容付着応力度 (Fc ≤ 22.5N/mm² の場合: (1/10)

Fc × 2, Fc > 22.5N/mm² の場合: {1.35 + (1/25) Fc}

×2 ただし、コンクリート設計基準強度 (Fc) は表-3 に示した実験時材齢の実圧縮強度 19.1N/mm² を採用して計算) 2)

d: Y 型アンカーの軸部の直径 (d は鉄筋の呼び径 25mm を採用)

L: 埋込長さ (表-1 参照)

σ_y : Y 型アンカーの降伏点 (表-2 に示した No.15, No.17 試験体の降伏点を採用)

l_y : Y 型アンカーの軸芯位置から Y 字型定着体に作用する支圧力の重心位置までの距離

図-8 に付着破壊した No.15-1,2, No.17-1,2 の試験体の最大耐力実験値 (ePmax) と式(6)による計算値との比較を示す。全ての試験体で安全側の評価となった。L=6d の No.15-1,2 の比較値は 1.87~1.88 で、平均値は 1.88 であった。L=8d の No.17-1,2 の比較値は 1.88~2.01 で、平均値は 1.95 であった。なお、本評価式は付着破壊による短期許容引張力を算出したものであり、終局時の付着耐力を算出する場合は、短期許容付着応力度を適用するのではなく、終局時の付着強度式を引用すべきと考えられる。また、Y 字型定着体の曲げ戻しについても、全塑性モーメントを用いて検討することが適切と考えられるが今後の課題としたい。

3.5 本体ネジ部破断の実験値と計算値との比較

図-9 に本体ネジ部破断した試験体 No.19-1,2 の最大耐力実験値 (ePmax) と式(2)による計算値との比較を示す。同図中の破線は計算値であり、赤破線は、本体ネジ部の降伏により決定する場合の短期許容引張力 (s_{pa}) である。なお、計算に際しては、低減係数 $\Phi_1=1.0$, 引張強度 s_{pa} を SD345 の規格降伏点とし、 $s_{pa}=s_y=345\text{N/mm}^2$ とした。また、アンカーの断面積 s_a は、破断位置を考慮して、D25 の公称断面積 506.7mm² より M16 並目ネジの有効断面積 157mm² を差し引いた断面積 349.7mm² を採用して計算を行った。以上の結果、 $s_{pa}=120.6\text{kN}$ となり、比較値 (=実験値/計算値) は 1.40, 1.39 となり、十分、安全側の評価となった。次に、本体ネジ部破断の耐力を推定するため、引張強度 s_{pa} に表-2 に示した No.19 の降伏点 (σ_y) および引張強さ (σ_u) を代入して、本体ネジ部破断耐力を算出した。降伏点 (σ_y) を用いた降伏耐力計算値 (eP_y) は、同図中の青破線のライン: 138.8kN であり、比較値は 1.21, 1.20 となり、安全側の評価となった。一方、引張強さ (σ_u) を用いた破断耐力計算値 (eP_u) は、同図中の緑破線のライン: 197.6kN であり、比較値は 0.85 となり、危険側の評価となった。そのため、引張強さ (σ_u) を用いて本体破断の耐力を推定する場合は、耐力を過大に評価するため注意が必要である。実験値 (ePmax) が破断耐力計算値 (eP_u) に達しない理由であるが、破断位置は、ねじが切られている箇所から、切られていない箇所

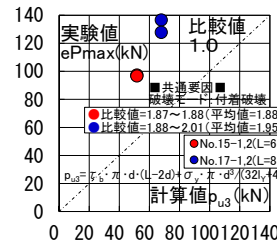


図-8 付着破壊耐力の実験値と計算値との比較

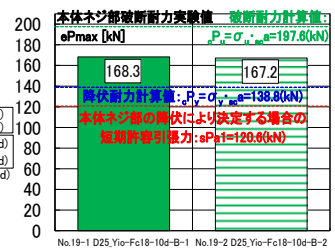


図-9 本体ネジ部破断耐力の実験値と計算値との比較

の境界位置で発生していることから、応力集中が破断要因の1つと考えられる。さらに、破断した箇所はねじ部であり、ねじの凹凸 (切り欠き) による応力集中も考えられる。以上の要因により、実験値が計算値を下回ったと推察される。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- へりあき無の試験体は埋込長さが長くなるに従い、耐力が向上し、破壊モードはコーン状破壊から付着破壊、そして本体破断へと移行した。
- へりあき有の試験体の破壊モードは、直線部と Y 字型定着体のほぼ境界位置を起点とした斜めひび割れ (すべり面) が形成されるコーナー部割裂破壊を示した。また、埋込長さが長くなるに従い耐力が向上するが、へりあき無の耐力に比べて、低い傾向が認められた。
- コーン状破壊した試験体の最大耐力実験値とコーン状破壊を想定した既往の評価式による計算値との比較を行った結果、へりあき有の試験体の分布とへりあき無の試験体で分布が大きく異なることが明らかとなり、へりあき有の試験体はへりあき無の試験体に比較して、危険側の方向にシフトすることが明らかとなった。
- 付着破壊を想定した Y 型アンカーの抵抗メカニズムを明らかにし、それに基づく付着破壊による短期許容引張力の式を導出した。付着破壊をした試験体の最大耐力実験値と本提案式による計算値との比較を行った結果、安全側の評価となった。
- 本体破断の耐力を推定する場合、降伏点 (σ_y) を用いて計算する場合は、安全側の評価となるが、引張強さ (σ_u) を用いて計算する場合は、危険側の評価となった。そのため、引張強さ (σ_u) を用いて本体破断の耐力推定する場合は、耐力を過大に評価するため注意が必要である。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説, pp.225-292, 2010.11
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 2020年版 建築物の構造関係技術基準解説書, pp.552, 2020.10