

アンカーボルト用トルク管理型特殊ナットの開発研究

辻 岡 静 雄^{*1}・桑 原 進^{*2}・松 本 嘉 玉^{*3}

Development of Torque-Control Type Nut for Anchor Bolt

Shizuo Tsujioka, Susumu Kuwahara and Yoshio Matsumoto

To improve the rigidity of the exposed type steel column base, the anchor bolt shall be tightened. The nut tightening tests of the anchor bolt set with the rolled threads, the torque-control type hexagon nut, the disc-spring and the plain washer were conducted. The fracture behavior and the bolt tension are discussed. And the relationship between the diameter of the narrow part in nut and the failure tightening torque is investigated.

1. はじめに

露出柱脚はモーメントに抵抗し、接合部内の回転が生じるもので、履歴性状が逆S字状のスリップ形を呈すること、また、兵庫県南部地震では露出柱脚での溶接やアンカーボルトに起因する耐力や回転能力に関する限界状態が存在すること等が明らかとなり、柱脚の耐力、回転剛性や変形能力（回転能力）を適切に考慮した柱脚と上部構造の設計が要求されている¹⁾。一方、使用限界等の観点からも露出柱脚の固定度を確保することが必要で、ナット回転法により、30度のナット回転量で本締めされる。また、アンカーボルトでは初張力の低下、すなわち、緩みの防止ということから二重ナットとされる²⁾。

本研究は、鉄骨露出柱脚の固定度向上を目的としてアンカーボルトに張力を導入する方法を研究するものである。本報告は、トルク管理型の特殊ナット（破断溝付ナット）の開発研究を行うもので、破断溝付ナット、皿ばね座金からなるアンカーボルトセットの締付け試験によって、その軸力比が0.5以下となる特殊ナットの形状寸法と締付けトルクを検討・考察する。

2. トルク管理型特殊ナットの締付け試験

(1) 試験体

試験体は特殊ナット、皿ばね座金、アンカーボルト、定着板、定着座金、定着ナットで構成されるM27～M36のアンカーボルトセットである。

- 1) 皿ばね座金は、座金を円すい状に成形した形状を持ち、高さ方向の圧縮に対してバネ特性を得ることが出来る特殊な形状の座金で、重荷重用の皿ばね1枚のみを用いた（図1、表1）。
- 2) アンカーボルトには建築構造用転造ねじアンカーボルト ABR490 を使用し、定着長さ 20d を満たす長さ ℓ とした。定着ナット、定着座金には市販のアンカーボルトセットのナット、平座金とした。
- 3) 特殊ナットは、強度区分 4.8 の破断溝付六角ナットで、このコ字形溝のトルク破断で締付けトルクを管理する形式である（図2、表2）。このナットの形状寸法について、ねじ山数は12山で、下ナット高さ H_L は

*1 建設工学科 建築学専攻, *2 京都工芸繊維大学, *3 松本鉄工所

呼び径 d の 0.5 倍、破断溝幅はアンカーボルトのねじピッチ $p+1\text{mm}$ とした。また、上ナット高さは $0.7d$ 程度で、上面にはくぼみが設けられている。これは破断後上ナットを緩めて逆にして再度締めつけることで二重ナットとするため、くぼみの内径 D' と深さ b' は各々破断溝外径 $+1.5\text{mm}$ 、破断溝幅 $+0.5\text{mm}$ とした。

実験変数はボルトの呼び径 d ($M27\sim M36$)、破断溝外径 D である。後者の D は $d+2\text{mm}$ 以内で、アンカーボルトの導入張力がアンカーボルトの引張降伏耐力の 0.5 倍以下となるように設計し、各外径で 2 体製作した。

(2) 試験治具と測定方法

アンカーフレーム形式の露出形柱脚をモデル化して、板厚 40mm のベースプレートと板厚 $19\sim 25$ の定着板を有するリブ付被締付け治具を製作した。鋼種は SS400 材、孔径は $d+10\text{mm}$ とした。

測定は、ボルト張力、締付けトルク、ナット回転角について行い、ボルト張力はアンカーボルト中央部に貼付した歪ゲージにて、締付けトルクはソケットとトルクレンチの間に設置したトルク計 (容量 500Nm) で、ナット回転角はソケットの周囲にワイヤーを巻き付け、巻込み形変位計により測定した (写真 1)。

(3) 試験方法

試験は、ナットの締付け、上ナットの緩め、上ナットの再締付け、上ナットの再緩め、下ナットの緩めで構成される。これら一連の試験の手順を掲げる。

- 1) ねじ部、座金、治具表面を清掃した後、ボルト孔中央にアンカーボルトを、余長が $1\sim 2$ 山となるよう皿バネ座金、ナットをセットする。ナットを手締めし、この点をボルト張力、ナット回転角の初期値とする。
- 2) 破断溝が見えるようにソケットを上ナットにセットして、プリセット形トルクレンチを用いてトルク 200Nm で締めることで 1 次締付けを行う (写真 1)。
- 3) マーキングを行った後、本締めをトルクレンチ、トルク計、プララドパワートルク (PL-300G) を用いて行う (写真 2)。破断を確認した時点で本締め終了とする。
- 4) プララドの反力位置を変更して上ナットを緩め、外す。その後、ナットを逆さにして再度セットし、スパナで手締めをする。そして、マーキングの後、上ナットを再度締付ける。この場合、上ナットと下ナットの間の摩擦係数が大きいので下ナットが回り始める。このトルクは本締め時の破断トルクに相当する。この回転を押さえることは難しく、また、押さえればロッキングにより上下ナット間に張力が導入され、ねじ間が塑性化する恐れがあり、再使用等には適さない。従って、回転が生じれば、トルク係数に応じて張力が増加するので、マーキングがずれた時点で上ナットの締付けを終了する。
- 5) 上ナットの再緩めを行ったが、ロッキングが不十分な場合、下ナットも同時に緩むこととなる。

3. 実験結果

$M27\sim M36$ のアンカーボルトについて、破断溝外径 (実測値)、締付けトルク、導入張力、トルク係数等の試験結果を表 3 に、ボルト張力-ナット回転角、トルク関係の代表例を図 3 に示す。ここに、表 3 の 1 次、本締めの回転角は各試験開始時からの値である。また、写真 3、4 に試験中の特殊ナットの状況を示す。

(1) 締付け性状と破断状況

$M27$ アンカーボルトの締付けでは、1 次締付け時に皿ばね座金は平坦化し、ボルト張力-回転角関係において折れ曲がり点として表れた。そのトルクは $74.7\sim 108.5\text{Nm}$ (平均値 85.58Nm)、導入張力は $15.15\sim 21.12\text{kN}$

(平均値 17.91kN) であった。1 次締付けではトルクは 163～184.2Nm (平均値 174.7Nm) で、導入張力は 31.83～37.49kN (平均値 35.49kN) と破断溝外径に無関係となった。本締め時点では最大トルクは 371.4～484.6Nm で、破断溝外径が小さい程トルクは小さく、当然であるが導入張力も小さくなった。また、回転角は 70～89° であった。破断はねじ面に沿って螺旋状に生じた。次に、上ナット緩めトルクは 156.1～248.9Nm (平均値 177.0Nm) で、螺旋部分の引張破断で生じ、張力の変動はなかった。逆にした上ナットの再締付けでは本締めの最大トルク値程度からロッキングが始まり、下ナットの回りを防止した場合にはトルクのみが増大するが、限度があり下ナットも回り始めて張力も増大した。上下ナット間にロッキング力が導入されてねじ部の塑性化が生じ、アンカーボルトの再使用に不適となる。一方、下ナットの回りを防止しない場合、最大トルク値程度から下ナットも回り始め、トルクの増大とともに張力も線形的に増大する。また、上ナットの再緩めでは、下ナットの回りを防止しなかった場合には下ナットも緩むこととなった。

M36 の締付けでは、1 次締付けではトルクは 185.6～196.5Nm (平均値 190.2Nm)、導入張力は 26.35～31.07kN (平均値 29.62kN) であったが、1 次締付けでは平坦化しなかった。本締めでは最大トルクは 776～916.8Nm、導入張力は 172.2～108.1kN で、破断溝外径が小さいほどトルク、導入張力は小さくなる。破断線は螺旋状にねじ面に沿って生じた。本締めで皿バネ座金が平坦化するので本締め時の回転角は 160～210° と M27 に比べて大きくなった。平坦化時のトルクは 363.5～449.6Nm (平均値 401.6Nm)、導入張力は 59.4～61.17kN (平均値 60.45kN) であった。上ナットの緩めでは、トルクは 293.5～393.4Nm (平均値 331.9Nm) で、張力の変動はほとんどなかった。また、上ナットの再締付けでは下ナットの回り防止を行わなかったため、本締め時の最大トルク程度より下ナットが回りし、トルクの増大とともに張力も増大した。さらに、上ナットの再緩めでは下ナットも緩んだ。

一方、M30 は 1 次締付けで、M33 では本締めで平坦化したので、その締付け性状は各々 M27、M36 に対応している。なお、平坦化時のトルクと導入張力の平均値は、M30 で 106.2Nm、17.73kN、M33 で 228.6Nm、36.86kN であった。

(2) トルク係数値

ボルト張力-トルク関係より最小自乗法にて得られたトルク係数値は 1 次締付け、本締めで大きな差異はなかった。これは 1 次締付け、本締めを通してほぼ線形関係にあることと合致している。M27～M36 の各ボルトの本締め時のトルク係数値の平均値は、各々 0.193、0.194、0.196、0.173 であった。

(3) 破断トルク

上ナットをトルク T で締付けた場合、破断溝のトルク T_n は、次式で求められる。

$$T_n = T - \alpha T_s \quad (1)$$

ここに、 α はねじ部のトルク T_s に占める上ナットの比率で、ねじ面で張力 N が均等に分布するとすれば、当該の M27～M36 の特殊ナットではほぼ一定で、0.570 と得られる。

また、締付けトルク T は、ボルト軸部に生じた軸トルク T_s とナット座面の摩擦トルク T_w の和となるので、 T_s/T は次式で与えられる³⁾。

$$T_s/T = 1 - D_w \cdot \mu_w / (p / \pi + 1.155 \mu_s \cdot d_p + D_w \cdot \mu_w) \quad (2)$$

ここに、p はピッチ、 μ_s 、 μ_w は各々ねじ面、ナット座面の摩擦係数、 d_p はねじの有効径、 D_w はナット座面

と座金表面の接触部における摩擦トルクの等価直径である。

各摩擦係数を等しいと置いて、各ボルトのトルク係数値(平均値)を反映すれば、M27～M36 に対して T_s/T は 0.488～0.514 で、近似的に 0.502 と得られる。従って、(1) 式より、 T_n/T は 0.714 と、即ち、当該の形状寸法では締付けトルク T は破断溝のトルク T_n の 1.40 倍となることになる。

破断溝がトルク T_u で破断した場合、破断溝の横断面を外径 D_o 、内径 D_i の薄肉円管に置換すれば、この円管には張力 αN 、トルク T_u が作用する。対応する応力度は次式となる⁴⁾。

$$\sigma = \alpha N/A \quad (3a)$$

$$\tau = T_u / \{ (\pi/16) (D_o - D_i) (D_o + D_i)^2 \} \quad (3b)$$

ここに、 A は円管の断面積である。トルクで破断時にはこれらの応力度は次の破壊条件式を満足する必要がある。

$$\sigma^2 + 3\tau^2 = \sigma_B^2 \quad (4)$$

破断時のボルト張力 N_r 、締付けトルク T_r は、トルク係数値 k を用いて次式で表される。

$$N_r = 1 / \{ (\alpha / (A \sigma_B))^2 + ((T_u/T_r) k \cdot d / T_o)^2 \}^{1/2} \quad (5a)$$

$$T_r = k \cdot d \cdot N_r \quad (5b)$$

ここに、 $T_o = (\pi/16) (D_o - D_i) (D_o + D_i)^2 \sigma_B / \sqrt{3}$ は純振りの場合の破断溝部の破断トルクである。

次に、これら計算値と実験値(本締め時の最大締付けトルク T_m 及び導入張力 N_m) の比較を表 4、図 4 に示す。最大締付けトルクの計算にあたり、ナットの引張強さ σ_B は 400 N/mm^2 とした。また、破断溝のめねじは螺旋を描き、横断面の管厚は一定とならないので、円筒の内径をねじの呼び径と有効径の平均値とした。

純振りの場合の破断トルク T_o と最大締付けトルク T_m との比較を行えば、 T_m/T_o は 0.98～1.31 (平均値は 1.16) で、ほぼ対応している。また、ボルト張力 N_r 、締付けトルク T_r についての比較では、 T_m/T_r は 0.900～1.21 (平均値 1.12)、 N_m/N_r は 0.878～1.31 (平均値 1.11) となり、良い近似を得られていると言える。

4. まとめ

本報告は、鉄骨露出柱脚のアンカーボルト用のトルク管理型特殊ナットの開発研究を行ったもので、アンカーボルトセットの締付け性能試験を実施し、アンカーボルトの軸力比が 0.5 程度となる場合の締付け性状、トルク係数、破断トルク等について検討考察した。得られた結果を要約すれば次の通りである。

- 1) 皿ばね座金の平坦化はボルト張力-回転角関係において折れ曲がり点として表れ、M27、M30 アンカーボルトは 1 次締付けで、M33、M36 では本締めで生じる。
- 2) ボルト張力-トルク関係はほぼ線形関係にあり、トルク係数値の平均値は 0.19 前後となる。
- 3) 内径をねじの呼び径と有効径の平均値とする薄肉円管に破断溝部を置換すれば、破断時の締付けトルク T_r 、ボルト張力 N_r の計算値は、最大締付けトルク T_m 等の実験値をほぼ安全側で評価できる。
- 4) 特殊ナットの破断溝外径は、M27～M36 に対して各々 28.37、31.68、34.72、37.74mm となる。

謝辞 本研究は(財)若狭湾エネルギー研究センターの助成を受けた。試験実施に当り福井工業大学の卒研究生諸君に多大な協力を得ました。ここに、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課：2001 年版建築物の構造関係基準解説書，2001.

アンカーボルト用トルク管理型特殊ナットの開発研究

- 2) 日本建築学会：鉄骨工事技術指針・工事場施工編，1996. 2.
- 3) 日本規格協会：ねじ締結体設計のポイント改訂版，2002. 6.
- 4) 若林 實編：鉄骨構造学詳論，丸善，1985. 5.

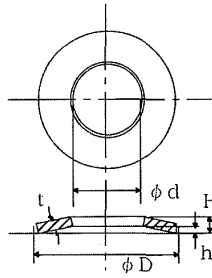


図 1 皿ばね座金

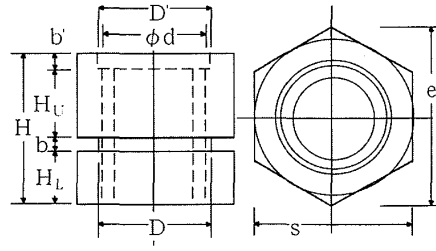


図 2 破断溝付六角ナット

表 1 皿ばね座金の形状寸法

	d mm	D mm	t mm	h mm	H mm	備考
A	28.5	56	3.0	1.3	4.3	M27
B	31	63	3.5	1.4	4.9	M30
C	36	71	4.0	1.6	5.6	M33
D	41	80	5.0	1.7	6.7	M36~M39

表 2 特殊ナットの形状寸法

呼び d mm	ピッチ p mm	高さ H mm	下ナット高さ H _L mm	上ナット高さ H _U mm	溝幅 b mm	溝深さ b' mm
M27	3.0	40.5	13.5	18.5	4.0	4.5
M30	3.5	44.5	15.0	20.0	4.5	5.0
M33	3.5	49.0	16.5	23.0	4.5	5.0
M36	4.0	53.0	18.0	24.5	5.0	5.0

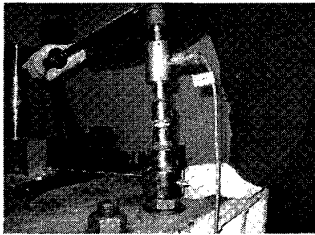


写真 1 1次締付け

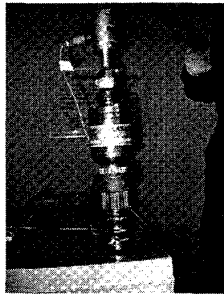


写真 2 本締め状況

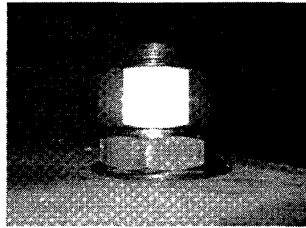


写真 3 溝部の破断

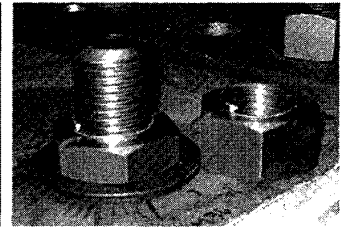


写真 4 上ナットの取外し

表 3 試験結果一覧

No	呼び径 d (mm)	溝外径 D (mm)	くぼみ 内径 D' (mm)	一次締め				本締め				上ナット緩め		上ナット再締付け			上ナット 再緩め		下ナット 緩め		座金平坦化	
				回転角 θ (°)	締付け トルク T (Nm)	導入 張力 N (kN)	トルク 係数値 k	回転角 θ (°)	締付け トルク T (Nm)	導入 張力 N (kN)	トルク 係数値 k	緩め トルク T (Nm)	導入 張力 N (kN)	回転角 θ (°)	増大 トルク T (Nm)	最大 トルク T (Nm)	締め トルク T (Nm)	緩め トルク T (Nm)	締付け トルク T (Nm)	導入 張力 N (kN)		
M27-1-a	27	28.86	29.50	289	176.4	35.54	0.172	89	449.6	89.00	0.187	157.4	92.81	46	302.2	740.7	574.6	330.9	80.1	16.59		
M27-1-b	27	28.75	29.50	251	179.7	37.40	0.171	89	484.6	78.80	0.214	164.8	82.51	12	299.8	818.1	729.4	314.7	83.1	18.35		
M27-2-a	27	28.71	29.50	225	184.2	33.79	0.198	78	430.9	75.40	0.194	156.1	81.59	45	448.4	634.5	487.1	302.2	74.7	15.15		
M27-2-b	27	28.65	29.50	242	174.1	36.88	0.191	86	425.9	87.25	0.181	177.3	84.16	26	350.9	665.7	507.1	266.0	108.5	21.12		
M27-3-a	27	28.34	30.00	256	170.9	37.49	0.160	70	392.2	75.61	0.223	157.4	73.55	22	374.7	459.6	312.2	-	84.8	18.86		
M27-3-b	27	28.40	30.00	272	163.0	31.83	0.187	89	371.4	77.36	0.160	248.9	76.33	21	384.7	464.5	354.7	-	82.3	17.41		
M30-1-a	30	31.33	33.00	295	174.9	29.12	0.187	48	395.9	66.43	0.194	184.8	68.13	15	424.6	502.1	348.5	318.5	103.7	17.45		
M30-1-b	30	31.30	33.00	198	181.6	29.00	0.190	57	405.9	70.19	0.197	262.2	72.74	12	415.9	544.6	398.4	237.3	112.4	18.55		
M30-2-a	30	31.68	33.00	210	183.7	30.58	0.190	83	552.0	94.50	0.197	253.5	97.53	44	613.3	729.4	555.8	440.9	100.7	17.09		
M30-2-b	30	31.67	33.00	204	185.5	29.00	0.201	87	554.6	95.96	0.187	267.2	96.93	74	605.7	723.1	587.0	-	107.8	17.82		
M33-1-a	33	34.75	36.50	208	193.5	29.83	0.193	130	703.3	110.0	0.190	432.2	115.6	22	769.4	953.1	755.7	-	239.8	37.92		
M33-1-b	33	34.69	36.50	175	172.7	26.84	0.176	146	730.7	113.5	0.202	490.9	115.9	32	769.4	985.5	793.1	397.2	217.3	35.80		
M36-1-a	36	37.88	39.50	159	185.6	30.34	0.152	190	916.8	172.2	0.138	293.5	173.1	18	1012.0	1012.0	790.7	-	363.5	60.99		
M36-1-b	36	37.92	39.50	142	196.5	30.70	0.176	160	775.7	129.4	0.176	332.2	128.3	18	873.2	961.2	772.0	-	390.9	61.17		
M36-2-a	36	37.74	39.50	230	192.4	31.07	0.163	155	776.9	122.7	0.175	308.5	124.3	18	818.1	877.1	695.7	-	402.2	59.36		
M36-2-b	36	37.74	39.50	129	186.1	26.35	0.178	158	820.7	108.1	0.201	393.4	117.2	15	811.8	856.8	755.7	-	449.6	60.26		

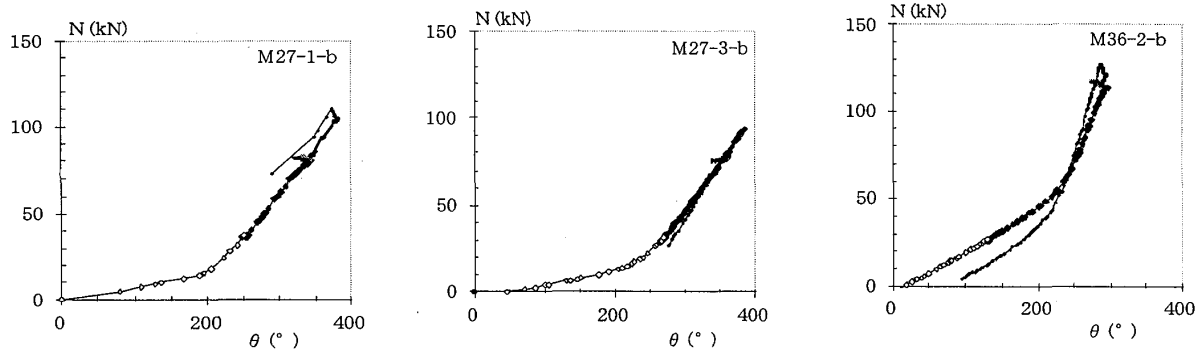


図3-a ボルト張力-ナット回転角関係

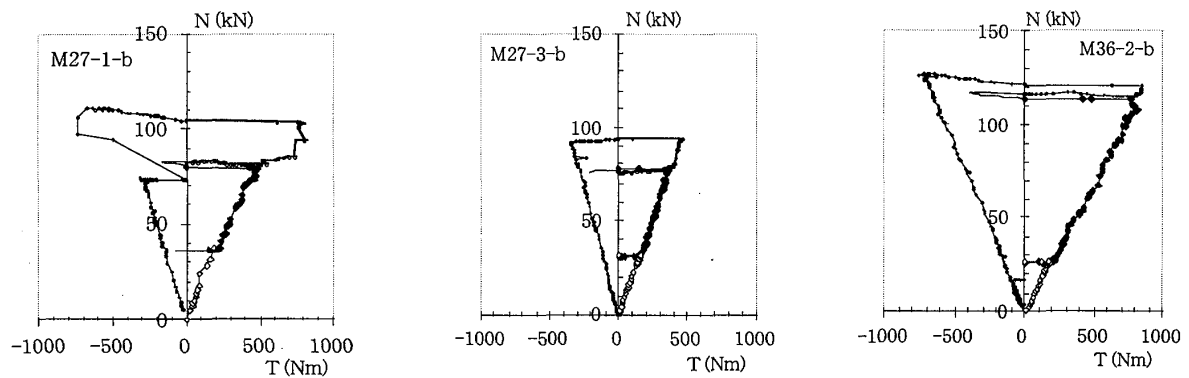


図3-b ボルト張力-トルク関係

表4 破断トルクとボルト張力

No	計算値									実験値			
	ABN_y kN	T_o Nm	N_f kN	T_f Nm	T_u Nm	T_u/T_o	N/N_y	N/ABN_y	k	T_m Nm	N_m kN	N_m/ABN_y	
M27-1-a	158	388	77.9	394	281	0.726	0.688	0.493	0.187	449.6	89.0	0.563	
M27-1-b	158	371	69.4	401	287	0.775	0.632	0.439	0.214	484.6	78.8	0.499	
M27-2-a	158	365	72.4	380	272	0.744	0.668	0.459	0.194	430.9	75.3	0.476	
M27-2-b	158	356	73.7	361	257	0.722	0.691	0.467	0.181	425.9	87.2	0.552	
M27-3-a	158	310	57.7	347	249	0.803	0.596	0.365	0.223	392.2	75.6	0.479	
M27-3-b	158	319	71.7	310	219	0.688	0.726	0.454	0.160	371.4	77.4	0.490	
M30-1-a	193	405	75.6	440	313	0.771	0.637	0.392	0.194	395.9	66.4	0.344	
M30-1-b	193	400	73.9	438	311	0.778	0.629	0.383	0.197	405.9	70.2	0.364	
M30-2-a	193	468	84.8	502	357	0.762	0.648	0.439	0.197	552.0	94.5	0.490	
M30-2-b	193	467	87.3	490	347	0.744	0.668	0.452	0.187	554.6	96.0	0.497	
M33-1-a	238	581	96.1	602	433	0.746	0.666	0.404	0.191	703.3	110.0	0.462	
M33-1-b	238	568	90.9	605	436	0.768	0.641	0.382	0.202	730.7	113.5	0.477	
M36-1-a	281	760	136.5	680	481	0.633	0.774	0.486	0.138	916.8	172.2	0.613	
M36-1-b	281	770	123.0	778	557	0.723	0.690	0.438	0.176	775.7	129.4	0.460	
M36-2-a	281	724	117.0	736	526	0.728	0.686	0.416	0.175	776.9	122.7	0.437	
M36-2-b	281	724	107.6	780	561	0.776	0.631	0.383	0.201	820.7	108.2	0.385	

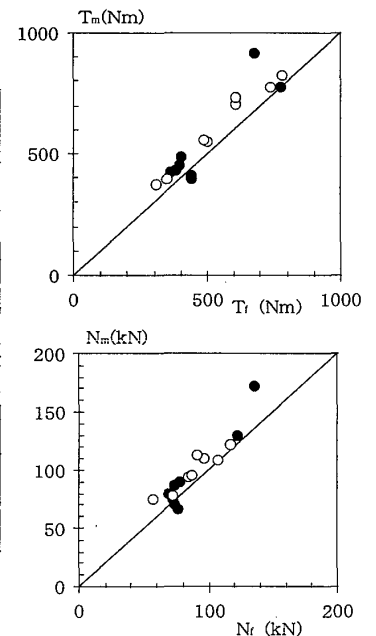


図4 T_m-T_f , N_m-N_f 関係

(平成19年3月23日受理)