

論文 RC造基礎梁に定着されたアンカーボルトの構造性能に関する実験的研究

安藤 祐太郎^{*1}・酒井 悟^{*2}・中野 克彦^{*3}

要旨：本研究は、RC造基礎梁に定着されたアンカーボルトの構造性能（支持耐力、抜出し性状および破壊性状）を実験的に把握することを目的としている。ここでは、梁幅が120mmの薄厚RC梁に、現在、使用されている種々のアンカーボルトを定着した場合の曲げ・せん断実験を実施し、耐力・靱性能・ひび割れ性状を把握した。そして、アンカーボルトの形状・へりあき寸法が、アンカーボルトの定着性能に与える影響について検討を行った。

キーワード：RC造基礎梁、アンカーボルト、へりあき寸法、コーン状破壊、付着破壊

1. はじめに

建築基準法の改正および住宅品質確保の促進などに関する法律の制定に伴い、小規模建築物とくに木造戸建住宅においては、RC造基礎の構造性能（耐力・靱性能）評価法の確立の必要性が生じている。図-1に基礎の配筋およびアンカーボルト（以下、アンカー）一例を示す。現在、使用されているアンカーは、何れも材料、ボルト類およびめっき仕様がJISの規格品または同等品であるが、それらの定着方法は、フックまたはプレートの支圧力によるもの、異形棒鋼または丸鋼の付着力によるものなど様々である。また、2004年に発生した新潟県中越地震においても多くの基礎に被害が生じており、アンカーのかぶり厚さ不足が原因とされる被害も報告されている（写真-1参照）¹⁾

現在、耐力に関する一般的な評価方法は、①「(財)日本住宅・木材技術センター：木質軸組工法住宅の許容応力度設計²⁾」、②「(社)日本建築学会：各種合成構造設計指針 頭付きアンカーボルト 等³⁾」がある。①は直棒部分の付着力（建築基準法における丸鋼の付着許容応力度を用いて計算）により評価している。一方、②は直棒部分の付着力は考慮せずに、定着部分の

支圧力（コーン破壊による耐力）により評価している。何れの評価方法も定着部分の形状（90°フック、180°フック、定着プレート、圧接コブ等）、直棒部分の形状（異形棒鋼、丸鋼）等は考慮しておらず、評価にあたっては矛盾が生じる

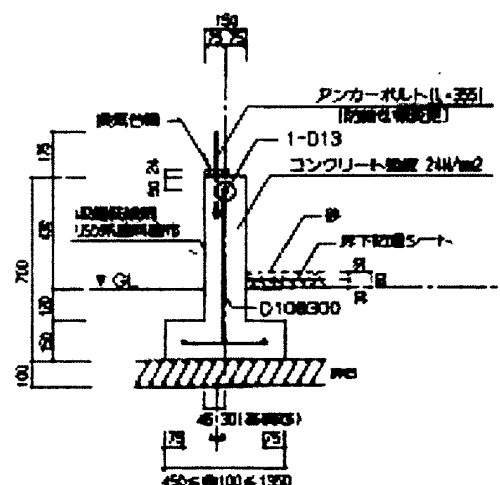


図-1 布基礎とアンカーボルト



写真-1 RC基礎におけるアンカーの被害

*1 新潟工科大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 サンヨーテクノ株式会社 (正会員)

*3 新潟工科大学 工学部建築学科准教授 博(工) (正会員)

表-1 アンカーボルトの実験要因および実験結果

No.	実験要因					実験結果				計算値			
	アンカー種類	ネジ部 サイズ	軸部 サイズ	σ_B^{*1} [N/mm ²]	σ_y^{*2} [N/mm ²]	最大耐力 ^{*3}		破壊 ^{*9} モード	$e \tau_{bmax}^{*4}$ [N/mm ²]	T_1^{*5} [kN]	T_2^{*6} [kN]	T_3^{*7} [kN]	T_4^{*8} [kN]
						荷重 [kN]	変位 [mm]						
A-1	プレート定着	M16	φ14.5	23.9	532	83.4	0.7	B→Y	1.86	84	126	11	202
A-2		M20	φ18	21.7	519	120	0.8	B→C	1.57	127	129	14	319
A-3	180° フック定着	M16	φ16	24.7	581	108	6.5	B→Y	1.63	91	126	11	-
A-4	90° フック定着	M12	φ10.5	26.0	583	30.4	2.5	B→Y	1.59	49	123	8.4	-
A-5	異形鉄筋	M22	D22	20.0	836	97.2	1.0	B	9.95	270	130	110	-
A-6		M20	D19	20.8	373	72.6	0.8	Y	6.97	73	128	96	-

*¹ σ_B (N/mm²): 実験時のコンクリート圧縮強度, *² σ_Y (N/mm²): 材料試験によるアンカーボルトの降伏点

*³ A-1, A-3, A-4, A-6 はネジ部が降伏した時の引抜き力, *⁴ $e \tau_{bmax}$ (N/mm²): アンカーに生じた最大平均付着応力度

*⁵ T_1 (kN)³): アンカー筋降伏 ($T_1 = \sigma_Y \cdot A_e$, σ_Y : アンカー筋降伏強度(N/mm²), A_e : アンカー筋ねじ部の断面積(mm²))

*⁶ T_2 (kN)^{2,3}): コーン状破壊 ($T_2 = 0.31 \sqrt{\sigma_B A_c}$, σ_B : コンクリート圧縮強度(N/mm²), A_c : 有効水平投影面積(mm²))

*⁷ T_3 (kN)³): 付着破壊 ($T_3 = \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e$, $\tau_a = 10 \sqrt{\sigma_B / 21}$ (N/mm², 異形鉄筋の場合), $\tau_a = 1.4$ (N/mm², 丸鋼の場合), d_a : アンカー筋径(mm), l_e : 定着長さ(mm))

*⁸ T_4 (kN)³): 支圧破壊 ($T_4 = f_n \cdot A_o$, $f_n = \sqrt{A_c / A_o} \sigma_B \leq 10$, f_n : コンクリートの支圧強度(N/mm²), A_o : プレートの支圧面積(mm²))

*⁹ B: 付着 (割裂) 破壊, Y: アンカー筋降伏, C: コーン状破壊

ことになる。これらの形状の違いによるアンカーの定着性能を明確にし、各々に対応した評価方法を確立する必要がある。

本研究では、RC 造基礎梁に定着されたアンカーの構造性能（支持耐力、抜出し性状および破壊性状）を実験的に把握することを目的としている。ここでは、梁幅が 120mm の薄厚 RC 梁に、種々のアンカーを定着した場合の曲げ・せん断実験を実施し、耐力・変形・ひび割れ性状を把握し、アンカーの形状・へりあき寸法が RC 造基礎梁の構造性能に及ぼす影響を明らかにする。

2. 各種アンカーボルトの引抜き実験

2.1 実験計画

各種アンカーの引抜き力と抜出し量の関係把握するための引抜き実験である。表-1 に試験体一覧、図-2 に加力装置および図-3 に変形測定装置を示す。

アンカーを埋込んだコンクリート供試体の形状は、550×550mm、深さ 250mm の直方体である。アンカーの定着方法は、プレート定着 (A-1, A-2)、180°フック定着 (A-3)、90°フック定着 (A-4) および異形鉄筋 (A-5, A-6) の 4 種類とした。アンカーの埋込み長さは 160mm とした。使用したコンクリートの設計基準強度は $F_c = 21 \text{ N/mm}^2$ であり、実験時の圧縮強度試験結果を表-1 に示す。

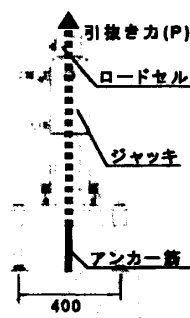


図-2 加力装置

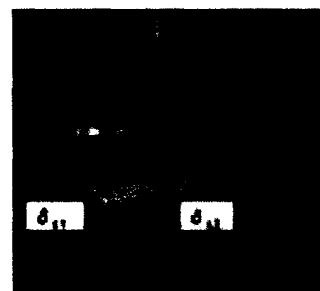


図-3 変形測定装置

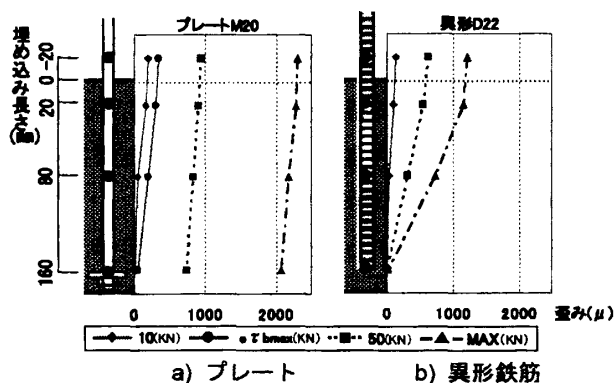


図-4 アンカーのひずみ分布

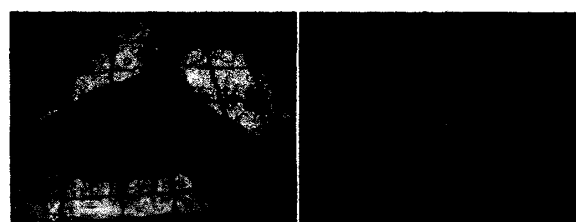


図-5 破壊状況一例

加力は、反力台をアンカーから埋め込み長さ以上離して、自己反力型でアンカーに引抜き力 (P) を与える形式とした。なお、反力台の柱は 3 本であり、アンカーを中心として 1 辺が 400mm の正三角形となっている。アンカーの拔出し量 ($\delta_s = (\delta_{s1} + \delta_{s2}) / 2$) は、コンクリート表面より 50mm の位置で測定したため、50mm 分のアンカー筋の伸び量を含んでいる。

2.2 実験結果

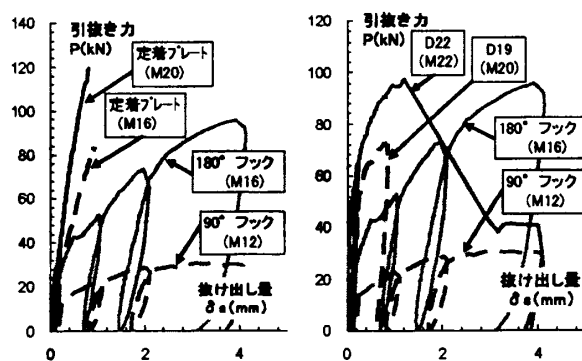
表-1 に実験結果一覧、図-4 にアンカーのひずみ分布、図-5 に破壊状況および図-6 に引抜き力 (P) と拔出し量 (δ_s) の関係を示す。

(1) プレートおよびフック定着の破壊性状

プレート、180°および 90°フックの定着機構は、図-4 a) のひずみ分布からもわかるように、加力初期は直棒部分の付着力で抵抗しており、付着力が喪失した後は、プレートおよびフック部分の支圧力により抵抗している。最終破壊状況は、M20 のプレートでコーン状破壊 (図-5 a) 参照) を示した以外はネジ部分の降伏が先行した。各アンカーに生じた最大平均付着応力度 (τ_{bmax}) は $1.6 \sim 1.9 \text{ N/mm}^2$ 、その時の拔出し量 (δ_s) は $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$ 程度であった。

(2) 異形鉄筋の破壊性状

異形鉄筋の定着機構は、図-4 b) のひずみ分布からもわかるように、最大耐力まで付着力で抵抗しており、 τ_{bmax} は 7.0 N/mm^2 (D19)、 10 N/mm^2 (D22)、その時の D22 のアンカー拔出し量は 1 mm 程度であった。最終破壊状況は、D19 でネジ部分の降伏が先行し、D22 では付着破壊



a) フックとプレート定着 b) フック定着と異形鉄筋
図-6 引抜き力 (P) と拔出し量 (δ_s) の関係

(図-5 b) 参照) を示した。

(3) アンカーの拔出し性状

図-6 a) よりプレート定着およびフック定着の拔出し量 (δ_s) は、直棒部分の付着力が喪失すると同時に増加している。180°および 90°フックが急激に剛性低下し、その後も徐々に剛性低下するのに対して、プレート定着は剛性低下後は P- δ_s 関係は直線的であり $\delta_s = 1 \text{ mm}$ 程度で M16 はアンカーネジ部の降伏に、また M20 はコーン状破壊に至っている。

異形鉄筋の P- δ_s 関係は、最大耐力の 80% 程度である $\delta_s = 0.2 \text{ mm}$ 程度までは拔出し量がほとんど生じず、付着力の劣化による剛性低下を生じながら $\delta_s = 1 \text{ mm}$ 程度で最大耐力に至っている。

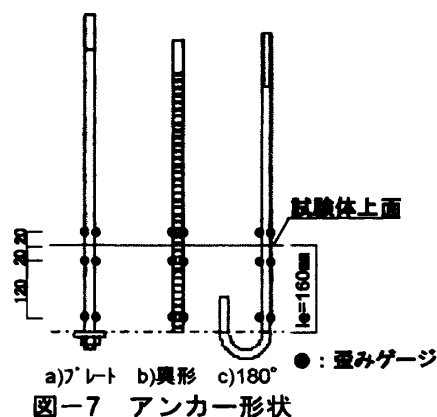
3. ヘリあきの小さい RC 梁の曲げ・せん断実験

3.1 実験計画

梁幅の小さい RC 造基礎梁に定着されたアンカーボルトの構造性能を把握することを目的とした、RC 梁の曲げ・せん断実験シリーズである。

表-2 曲げ・せん断試験体一覧

No.	アンカー部分				梁部分		
	種類	ネジ部 サイズ	軸部 サイズ	ヘリあき 寸法	主筋	せん断補強筋 形状	配筋
B-1	180° フック	M16	φ16	60mm	2-D16	135°	2-D6
B-2	プレート	M20	φ18	60mm	$p_t = 1.56\%$	フック	$p_w = 0.36\%$
B-3	異形鉄筋	M20	D19	(中央)	(SD345)	閉鎖	
B-4	アンカー無	—	—	—			
B-5	180° フック	M16	φ16	35mm	1-D22	180°	1-D10
B-6	プレート	M12	φ18	85mm	$p_t = 1.54\%$	フック	$p_w = 0.39\%$
B-7	異形鉄筋	M22	D19	(偏心)	(SD345)	シングル	
B-8	アンカー無	—	—	—			



a) プレート b) 異形 c) 180°
図-7 アンカー形状

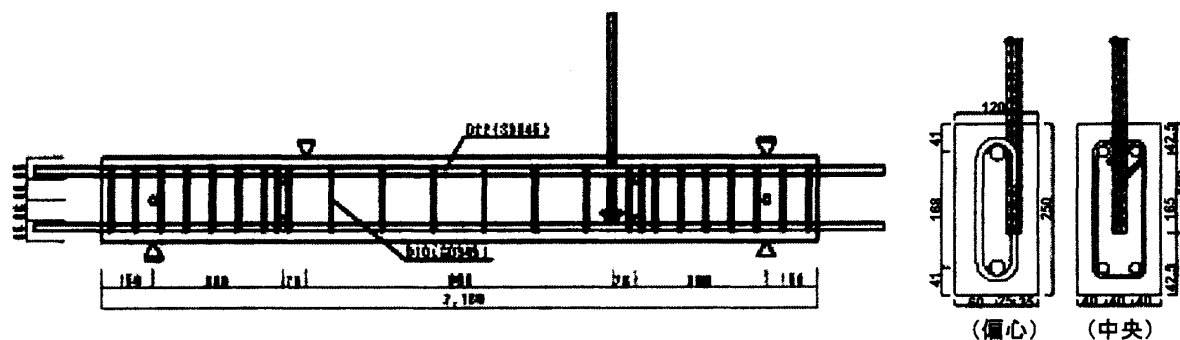


図-8 試験体形状および断面形状

表-3 ヘリあきの小さいRC梁の計算値および実験結果

No.	計算値							実験値						
	梁部分		アンカー部分					梁部分						
	cQ_{su}^{*1}	cQ_{mu}^{*2}	$T_1/2^{*3}$	$T_2/2^{*4}$	$T_3/2^{*5}$	$T_3/2^{*7}$	$T_4/2^{*6}$	破壊モード	eQ_c^{*8}	eQ_b^{*9}	$e\tau_{bmax}^{*9}$	eQ_{max}^{*10}	$e\delta_{max}^{*11}$	破壊モード
B-1	49.0	65.1	45.6	28.0	5.65	—	—	付着	8.6	5.0	1.23	29.3	2.39	コーン
B-2			63.5	28.2	6.35	—	174	コーン	8.3	6.3	1.14	49.5	5.26	コーン
B-3			44.0	28.2	47.8	22.8	—	付着割裂	5.5	26.0	5.81	26.0	2.21	付着割裂
B-4			—	—	—	—	—	梁せん断	9.5	—	—	52.3	6.21	梁曲げ
B-5	50.4	59.9	45.6	27.7	5.65	—	—	付着	8.2	3.2	0.66	22.1	1.03	コーン
B-6			63.5	27.9	6.35	—	174	コーン	7.6	7.3	1.10	32.0	2.84	コーン
B-7			44.0	27.9	47.8	17.8	—	付着割裂	3.3	17.2	3.24	19.0	1.66	付着割裂
B-8			—	—	—	—	—	梁せん断	9.8	—	—	49.5	6.74	梁曲げ

*¹ cQ_{su} (kN)⁶: 大野・荒川 min 式によるせん断強度, *² cQ_{mu} (kN)⁶: RC 規準略算式による曲げ終局時のせん断力

*³ T_1 (kN)³: アンカー筋降伏 (表-1 参照), *⁴ T_2 (kN)³: コーン状破壊 (表-1 参照, A_c はヘリあきを考慮)

*⁵ T_3 (kN)³: 付着破壊 (表-1 参照), *⁶ T_4 (kN)³: 支圧破壊 (表-1 参照)

*⁷ T_3 (kN)^{4,5}: ヘリあきを考慮した付着耐力式 ($T_3 = \alpha \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d_a \cdot l_e$, $\alpha = 0.5 \frac{c}{l_e} + 0.5$, c : ヘリあき寸法(mm))

*⁸ eQ_c (kN): 曲げひび割れ発生時のせん断力, *⁹ eQ_b (kN): アンカー最大付着応力度 ($e\tau_{bmax}$ (N/mm²)) 時のせん断力

*¹⁰ eQ_{max} (kN): 最大耐力時のせん断力, *¹¹ $e\delta_{max}$ (mm): 最大耐力時の相対変形

表-2 に試験体一覧, 図-7 にアンカー形状, および図-8 に試験体形状および断面形状を示す。

共通要因は梁断面 $b \times D = 120 \times 250$ mm, せん断スパン比 $a/D = 1.8$ (せん断スパン $a = 450$ mm), コンクリート設計基準強度 $F_c = 21$ N/mm²とした。なお, 実験時のコンクリートの圧縮強度は $\sigma_B = 28.9$ N/mm²であった。

変動要因は, ①アンカーボルトの定着方法 3 種類 (プレート定着, 180°フック定着, 異形鉄筋) および比較用のアンカー無しの試験体, ②ヘリあき寸法 2 水準 ($c = 60$ mm, 35mm) の 2 要因とした。アンカーボルトを梁幅の中央に埋込んだ試験体 ($c = 60, 60$ mm) の上下主筋には 2-D16 (SD345, $p_t = 1.56\%$), せん断補強筋には 2-D6 (SD295A, $p_w = 0.36\%$) の 135°フック閉鎖型補強筋を用いた。また, アンカーボルトを偏心させて埋込んだ試験体 ($c = 35, 85$ mm) の上下主筋

には 1-D22 (SD345, $p_t = 1.54\%$), せん断補強筋には 1-D10 (SD295A, $p_w = 0.39\%$) の 180°フック型補強筋を用いた。

加力は, 大野式逆対称モーメント形式による一方向载荷とした。アンカーを定着させた試験体は, 図-8 に示すようにアンカーを引張り, もう一方を圧縮する方式とした。測定は梁の加力点の相対変形およびアンカーの拔出し量を変位計により, 主筋, せん断補強筋およびアンカーの歪を歪ゲージにより行った。

3.2 実験結果

(1) 破壊性状および変形状

表-3 に実験結果, 図-9 に各試験体の最終破壊状況および図-10 にせん断力 (Q) と相対変形 (δ) およびせん断力 (Q) と拔出し量 (δ_s) の関係を示す。比較検討用のアンカーの無しの試験体の破壊モードは, No.B-4 (閉鎖型せん断

補強筋), No.B-8 (シングル配筋) とともに主筋の曲げ降伏先行型となり, 曲げ降伏時の相対変形角は No.B-4 で $R_y = 1/145\text{rad.}$, No.B-8 で $R_y = 1/134\text{rad.}$ であった。

曲げひび割れは, 最初にアンカー部分で発生し, アンカー筋に沿って進展する傾向が観察された。曲げひび割れ発生荷重は, 直棒部分が丸鋼の場合にはへりあき寸法に関わらず同様の値であったが, 異形鉄筋ではへりあき寸法が小さいほど小さい値となった。

180°フックおよびプレート定着型アンカーを用いた試験体では, 直棒部分の付着力が喪失した後に, 定着力がフックおよびプレートの支圧力に移行し, 最終的にはアンカー定着部分のコンクリートのコーン状破壊を示した。なお, 偏心して定着した 180°フックおよびプレートでは側方割裂破壊の様相も観察された。

アンカーに貼付した歪ゲージより算出した最大平均付着応力度 ($\sigma_{t_{\max}}$) は $0.7 \sim 1.2\text{N/mm}^2$ であり, へりあき寸法の違いによる影響は顕著ではなかった。拔出し性状も, へりあき寸法の違いによる影響はなく, 直棒部分の付着が喪失した後の拔出し量が 180°フックがプレートに比べて非常に大きくなっていた。

また, アンカーに異形鉄筋を用いた試験体は付着割裂破壊を示した。 $\sigma_{t_{\max}}$ は, アンカーが中央にある No.B-3 で 5.81N/mm^2 , アンカーが偏心している No.B-7 で 3.24N/mm^2 であり, へりあき寸法が 60mm から 35mm と小さくなることで, $\sigma_{t_{\max}}$ は 56%に低下した。拔出し性状は, 最大耐力に至るまで僅かな量であった。

(2) 最大引抜き耐力

図-11 にアンカー引抜き耐力の実験値と計算値の比較を示す。へりあきの十分なアンカーの引抜き耐力 (前述の 2 項) に比べて, 薄肉の梁における引抜き耐力は小さくなっている。180°フックでは, 54% ($c=60\text{mm}$), 41% ($c=35\text{mm}$), 定着プレートでは, 83% ($c=60\text{mm}$), 53% ($c=35\text{mm}$) であった。異形鉄筋では, へりあきの十分なアンカーが引張降伏で最大耐力が決ま

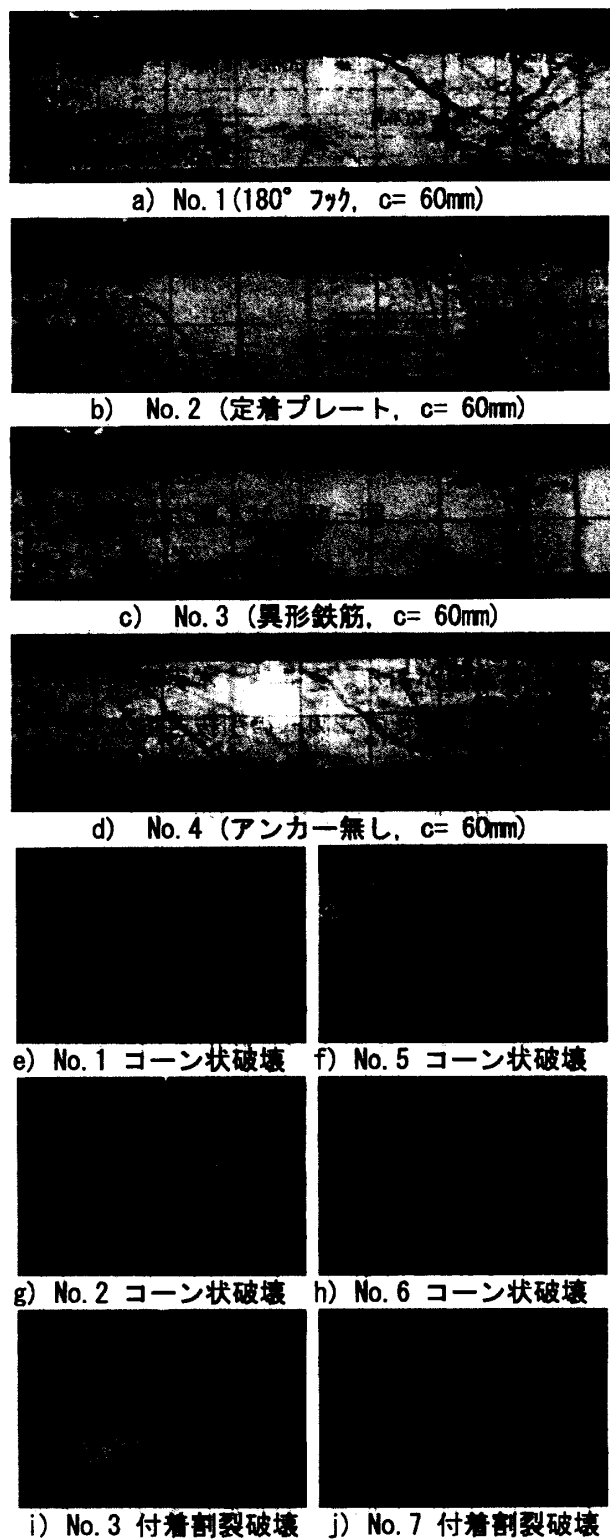


図-9 最終破壊状況

っているため, 耐力の比較はできないが, 付着割裂を示したアンカーの最大平均付着応力度で比較してみると, へりあきの十分なアンカーの $\sigma_{t_{\max}} = 10\text{N/mm}^2$ に対して, 58% ($c=60\text{mm}$), 32% ($c=35\text{mm}$) であった。図-11 に示すように,

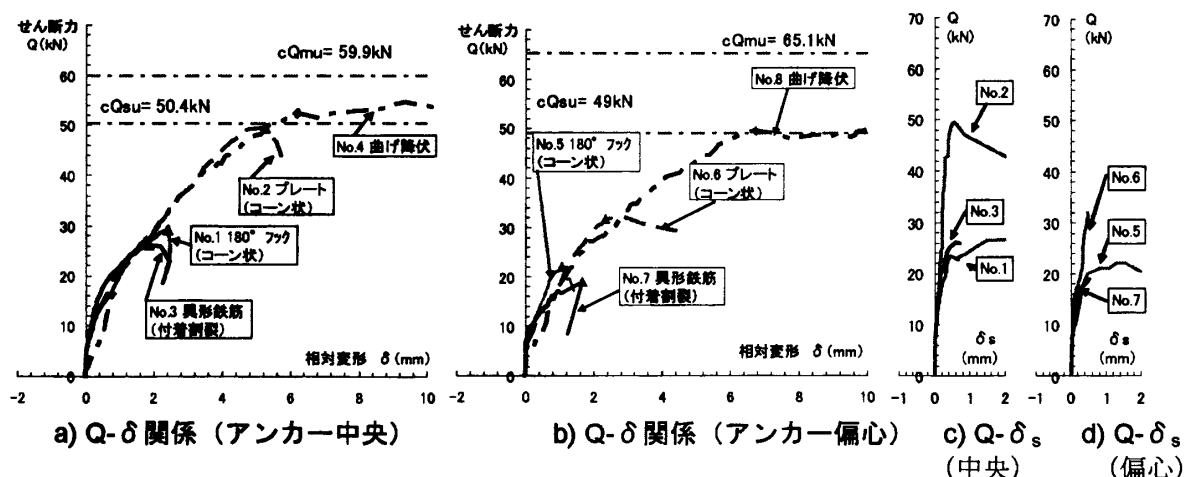


図-10 セン断力と相対変形およびせん断力と拔出し量の関係

アンカーの引抜き耐力はへりあきの状況、アンカーの形状による破壊モードを考慮した評価式を用いる必要がある。さらに、本実験は引張応力場に定着されたアンカーの引抜き耐力であり、文献 7) で示されているように、引張応力場の影響による耐力低下を考慮する必要がある。

4. まとめ

RC 造基礎梁に定着されたアンカーボルトの構造性能を評価するにあたり、本実験範囲内において以下の知見を得た。

- (1) へりあき寸法がアンカーの直棒部分の平均付着応力度に及ぼす影響は、異形鉄筋では顕著であるが丸鋼では顕著でない。
- (2) 定着部の抵抗力と拔出し量の関係は、定着部の形状により大きく異なる。
- (3) アンカーの引抜き耐力は、へりあきの状態、アンカーの形状を考慮した破壊モード、さらに梁の応力状態を考慮した方法により評価する必要がある。

参考文献

- 1) 中野 克彦：新潟県中越地震による小規模建築物の宅地・基礎の被害（その 9 地震被害によるアンカーボルトの設計法に関する一考察），日本建築学会学術講演梗概集，B-1，pp.747-748，2005.9
- 2) 日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計，2004
- 3) 日本建築学会：各種合成構造設計指針同解説，

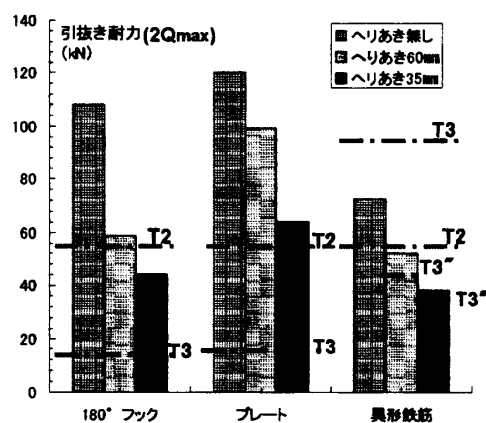


図-11 実験値と計算値との比較

1985.2

- 4) 酒井 悟，中野 克彦，他：接着系あと施工アンカーの引張特性に定着長さとへりあき寸法が与える影響に関する実験的研究（その 1 実験概要及び実験結果），日本建築学会学術講演梗概集，C-2，pp.49-50，2005.9
- 5) 中村 卓史，松崎 育弘，他：定着長さとへりあき寸法が接着系あと施工アンカーの引張特性へ与える影響に関する実験的研究（その 2 耐力評価に関する検討），日本建築学会学術講演梗概集，C-2，pp.51-52，2005.9
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1999.11
- 7) 小槻 雅人，松崎 育弘，他：RC はり部材に定着したアンカーボルトの抵抗機構に関する実験研究，JCI 年次論文集，1985