

6. 炭素繊維シートを用いた壁付き柱の耐震補強に関する研究 (その1. 炭素繊維シート端部の定着)

Studies on Seismic Retrofitting of Concrete Columns with Walls with the Carbon Fiber Sheet (Part 1. Anchorage Between the Carbon Fiber Sheet and Concrete)

中澤 敏樹*

福本 昇*

萩原 幸男*²

要 旨

壁付き柱に炭素繊維シート（以下、シートと称す）を巻き付けて補強する場合、シートによる拘束効果を確実にするために、壁に孔を設けてボルトを貫通しL型に加工した金物（以下、L型金物と称す）でシートを定着する方法が考案されているが、その定着効果については不明な点が多い。本研究では、従来のL型金物に比べ比較的にコンパクトで、かつシートの定着効果に優れた定着金物を提案し、金物形状やコーナー部の面取り寸法等を変動因子としたシート端部の定着に関する要素実験を行った。その結果、提案した定着金物はL型金物と比較してシートを拘束する効果が高く、十分な定着性能を有することが確認できた。

キーワード：炭素繊維シート／耐震補強／壁付き柱／定着金物／鉄筋コンクリート造

1. はじめに

既存不適格建物の耐震補強が急務となるなか、鉄筋コンクリート造柱に炭素繊維シートを巻き付けて補強する方法が、高い補強効果と共に優れた施工性をもつことで注目されている。¹⁾ しかし、十分な補強効果を得るにはシートを閉鎖型に巻き付けることが必要であり、そのため壁付き柱の場合は壁端部を研ってシートを巻き付けている例が多い。しかし、壁を研る際に騒音や粉塵が発生し、またその壁が耐震壁である場合はその構造性能に問題が生じる恐れがある。近年の研究では、壁に孔を設けてボルトを貫通させL型金物でシートの端部を定着する

方法が提案されているが、金物の形状が大きくなること、またその定着効果についても判然としない点が多い。

本報告では、「壁付き柱の耐震補強工法」開発の一環として、シート端部の定着効果を把握するために行った要素実験の結果について述べる。その1では、一般に用いられているL型金物等に比べ比較的にコンパクトで、かつシートの定着効果を期待できる定着金物（以下、金物）を提案し、その金物形状やボルト径等がシートの定着力におよぼす影響について述べる。

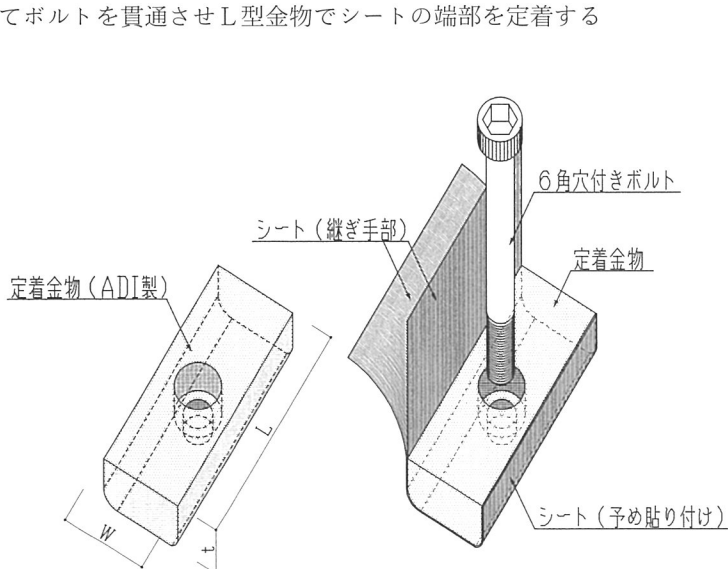


図-1 定着金物形状

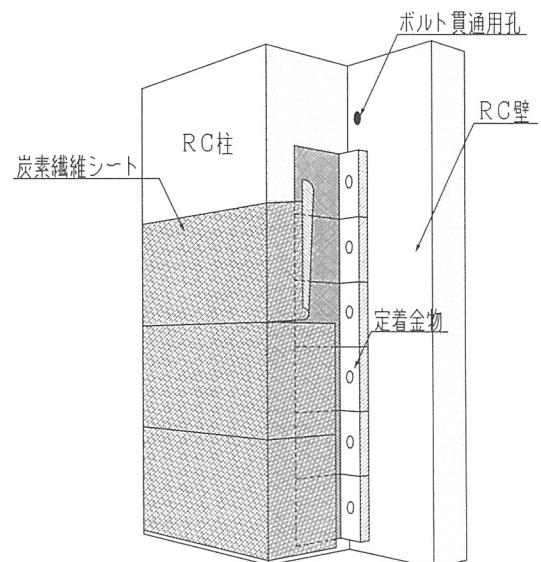


図-2 工法概要

*建築構造研究室

*²東京分室

2. 工法概要

図-1に今回提案した金物の形状を、図-2に工法概要を示す。金物は高強度の鋳鉄でできており、従来のL型金物等に比べ非常にコンパクトな形状をしているため、施工性に優れた金物となっている。金物の断面は矩形であり、中央にボルト貫通用の孔を設けている。

孔はボルトの頭部が金物の内部に埋まるように2段に加工しており、シートと接する面の隅角部には面取り加工を施している。シートは重ね継ぎ手部分を残して、工場で予め金物に貼り付けておく。現場での施工方法は、シートにエポキシ樹脂を塗り付け所定の位置へ金物を貼り付けた後、壁を貫通させたボルトで締め付けて接合する。その後、金物から突出したシートと柱に貼り付けたシートをエポキシ樹脂で接合して一体化させる。

3. 実験概要

3.1 実験因子

表-1に試験体一覧を、図-3に金物の断面図を示す。実験因子は金物形状、シートと接するコーナー部の面取り寸法、シートの巻き付け面数、ボルト締め付けトルクとした。基本とした試験体はNo.7であり、金物の形状は幅：60mm、長さ：145mm、厚さ：30mm、コーナー部の面取り半径： $r=10$ mmである。また、金物にはオーステンパ球状黒鉛鋳鉄（以下、ADIと称す）のFCAD900-8を用い、シートは幅120mmで2層4面巻き付けとした。No.1～No.5はシート層数を1層とし、面取り寸法の影響を確認するために $r=0\sim20$ mmとした。No.6, No.8は金物幅の影響を確認するために、No.6では50mm、No.8では80mmとした。No.9, No.10は金物の材質による影響を確認するために、より高強度の鋳鉄であるFCAD1400-1とSM490を用いた。No.11, No.12は金物へのシートの巻き付け定着の効果を確認するために、No.11は2面、No.12は3面巻き付けとした。No.13は比較用として従来のL型金物を用いた試験体である。No.14, No.15はボルトの締め付けトルクの影響を確認するために、No.14では低トルクを、No.15ではJASS6による所定トルクを導入した。なお、他の試験体では所定トルクの約5～6割程度とした。

3.2 試験体

図-4に試験体の形状を示す。試験体は鉄筋コンクリート造柱に厚さ15cmの壁が取り付け入り隅部を想定して製作したものであり、スタブを兼ねたコンクリート部分と載荷用の角形鋼管部分から構成されている。金物は

表-1 試験体一覧

No.	シート 層数 (層)	シート 幅 (mm)	定着金物		材質	面取り 寸法 (mm)	シート 接着 面数	ボルト 径 (mm)	締付け トルク (kg・m)	着目点
			形状	幅 (mm)						
1	1	120	矩形	60	FCAD 900-8	10	4面	20	35.0	面取り寸法
2					SM490	0				
3						5				
4						15				
5						20				
6	2	120	矩形	50	FCAD 900-8	10	4面	22	35.0	板幅
7				60						材質
8				80						
9			矩形	60	FCAD 1400-1					巻き付け
10					SM490					
11					FCAD 900-8		2面			金物形状
12			L型	80	SM490	38	3面			
13							2面			締付けトルク
14		150	矩形	60	FCAD 900-8	10	4面	16	3.5	
15									32.8	

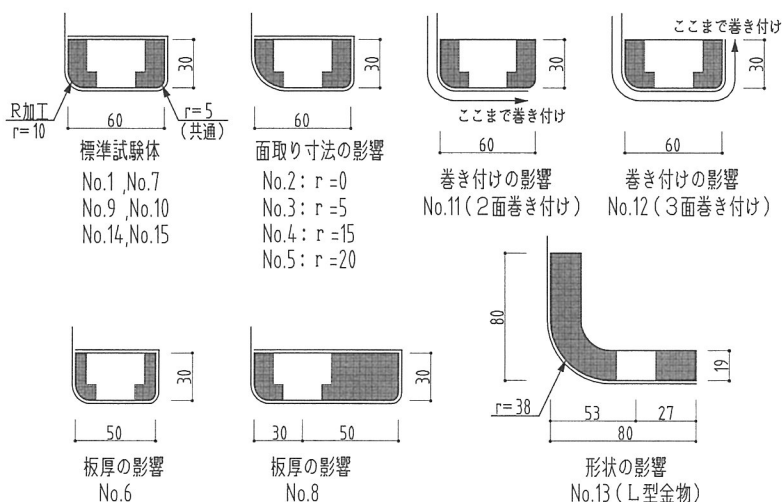


図-3 金物断面図

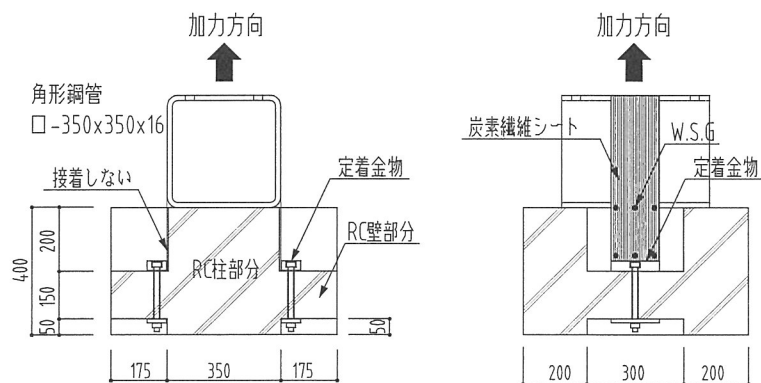


図-4 試験体形状

左右対称に2個取り付け、角形鋼管を覆うようにシートを貼り付けた。シートの継ぎ手位置は角形鋼管の頂部に設け、金物部分の定着力を明確にするために、角型鋼管より下部のコンクリートとシートの接着は行わなかった。

3.3 使用材料

表-2に材料試験結果を示す。金物材料に用いたADIはSM材に比べ高強度であり、また形状を自由に製作できるという利点を持つ。今回用いたADIはFCAD900-8とFCAD1400-1の2種類である。コンクリートは設計基準強度を $F_c=21\text{N}/\text{mm}^2$ となるように調合し、角形鋼管はSTKR400を用いた。

3.4 加力方法および測定方法

歪みおよび変位の測定位置を図-5に、実験状況を写真-1に示す。加力は500kNジャッキを鋼管上部に取り付け、左右の金物とシートに同じ引張り力が同時に作用するように行った。測定は荷重、全体変形、金物の浮き上がり、シートとボルトの歪みを計測した。

表-2 材料試験結果

	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	弾性率 (kN/mm^2)	伸び量 (%)	備考
シート($300\text{g}/\text{m}^2$)	—	3430	230	1.5	全試験体共通
FCAD900-8	810	1047	175	11.7	No.1,6,7,8,11,12,14,15
FCAD14000-1	1233	1471	166	2.8	No.9
SM490	366	527	214	44.2	No.2,3,4,5,10,13

註:シートの値はメーカーカタログ値

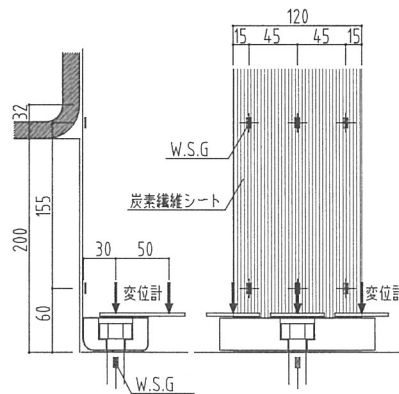


図-5 測定位置

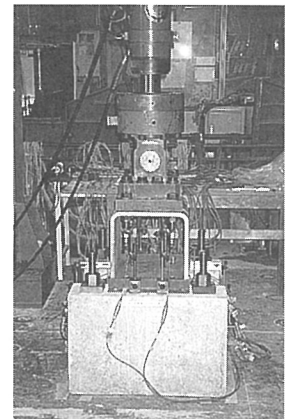


写真-1 実験状況

4. 実験結果

表-3に実験結果一覧を、図-6に各試験体のシートの破断状況を示す。ここで、最大荷重はジャッキに作用する荷重の $\frac{1}{2}$ を、最大応力度は最大荷重をシートの断面積で除した値である。シートが抜け出したNo.13、ボルト破断したNo.14、No.15以外は全てシート部分で破断した。面取り寸法を $r=0\text{mm}$ とした

No.2では面取り部分で破断し、 $r=5\text{mm}$ としたNo.3でも面取り部分の一部での破断がみられた。それに対し面取り寸法を $r=10\text{mm}$ 以上とした試験体では、面取り部分での破断は見られなかった。

表-3 実験結果一覧

No.	最大荷重 (kN)	最大応力度 (N/mm^2)	破断状況	備考
1	39.0	1945	シート破断②③	面取り寸法
2	35.6	1778	シート破断①	
3	38.1	1900	シート破断①②	
4	44.4	2215	シート破断③	
5	53.4	2666	シート破断③	
6	99.4	2481	シート破断②③	板幅
7	82.1	2049	シート破断②	
8	82.7	2064	シート破断③	
9	83.5	2084	シート破断③	材質
10	84.3	2104	シート破断④	
11	95.4	2380	シート破断②	
12	89.7	2237	シート破断②	巻き付け
13	81.9	2044	シート抜け出し	金物形状
14	102.2	2040	ボルト破断	締付けトルク
15	102.9	2053	ボルト破断	

註:シートの破断位置は、① → 金物底面の面取り部
② → 金物の面取り部と金物上面の間
③ → シート部を示す。

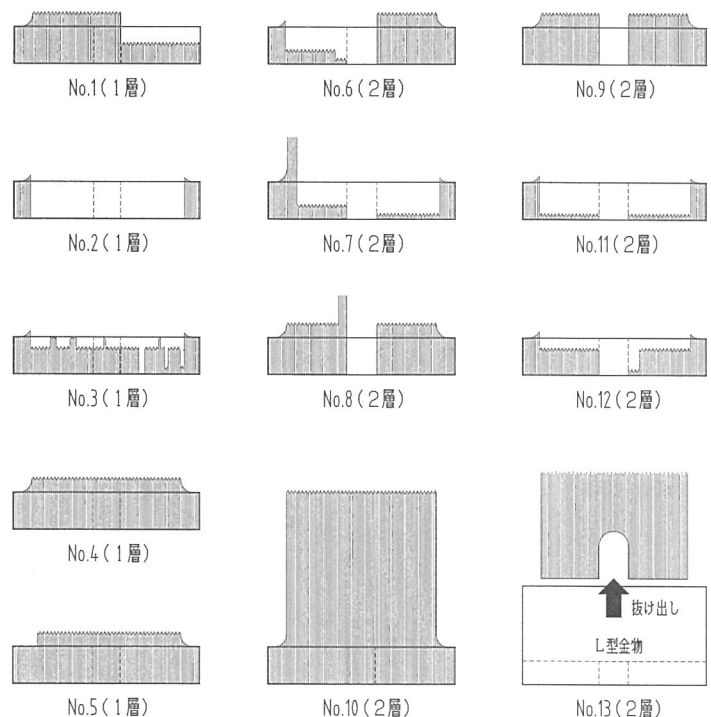


図-6 シートの破断状況

5. 実験結果の検討

5.1 面取り寸法の影響

1層巻き試験体について、最大耐力時のシートの応力度と金物の面取り寸法との関係を図-7に示す。面取り寸法が大きくなるに従い最大応力度が増大する傾向がある。ただし面取り： $r=10\text{mm}$ 以上の試験体に関しては、面取り部での破断は発生しておらず、最大応力度と面取り寸法との関係は必ずしも明確ではなかった。

シートの応力度と歪みとの関係を図-8に示す。シートの弾性率については各試験体とも $260\sim 270\text{ (kN/mm}^2\text{)}$ と大きな差はなく、面取り寸法の影響は見られない。

シートの拘束効果に影響を及ぼすと考えられる金物の変位量について、シートに作用する荷重と金物内端部の変位量との関係を図-9に、金物外端部の変位量との関係を図-10に示す。ここで、金物の変位量は図-5に示すように金物の中央と端部の3箇所で測定したが、全ての試験体で3点の変位にほとんど差がみられなかったため、評価は3点の平均値で行った。金物内端部の変位量について、面取り： $r=20\text{mm}$ としたNo.5の変位量が他に比較的大きくなっている。また金物外端部の変位量について、No.5では微少ではあるが金物外端部の底面が躯体へ

陥没していることがわかる。これは面取り寸法が大きくなることで金物の底面積が減少し、金物とコンクリート躯体との支圧力が増大したため、金物外端部の陥没が進行し、その影響で内端部の浮き上がりが大きくなったものと考えられる。

5.2 金物幅の影響

金物幅をパラメータとした2層巻き試験体について、シート荷重と金物内端部の変位量との関係を図-11に、荷重とボルトの伸び（壁厚： $t=150\text{mm}$ の範囲）との関係を図-12に示す。破断応力度は $2,000\sim 2,500\text{N/mm}^2$ となり1層巻き試験体とほぼ等しい値であった。金物内端部の浮き上がり変位量については、金物幅が大きくなるに従い変位量が小さくなったものの、金物内端部が躯体から離間した後のボルトの伸びは金物幅に関係なくほぼ一定となった。なお、図中No.7の離間荷重が他の試験体と比較して低くなっているが、これはボルト締め付け時において、No.7の導入トルクが小さかったことによると思われる。

5.3 金物材質、巻き付けの影響

金物の材質、金物へのシートの巻き付けの有無をパラ

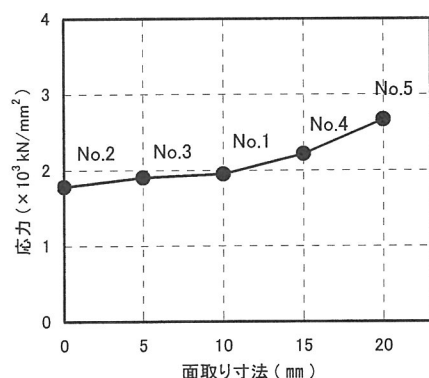


図-7 最大応力度－面取り寸法

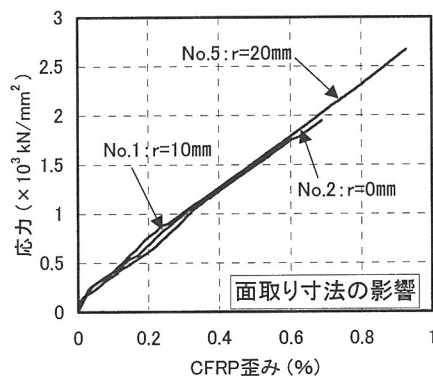


図-8 応力度－歪み

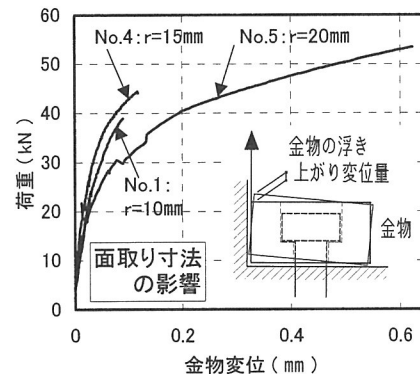


図-9 荷重－金物変位(内端部)

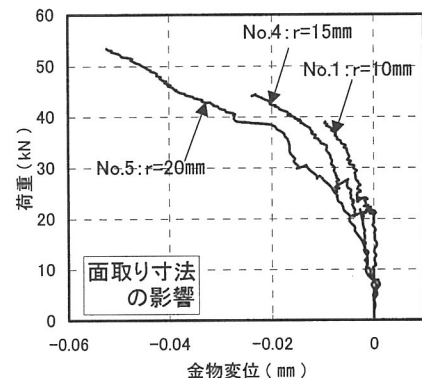


図-10 荷重－金物変位(外端部)

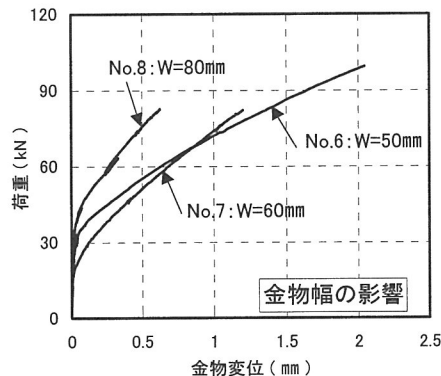


図-11 荷重－ボルト伸び

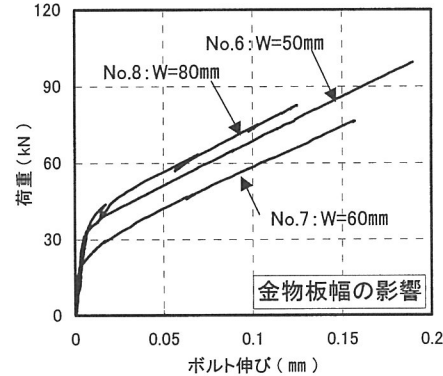


図-12 荷重－金物変位(内端部)

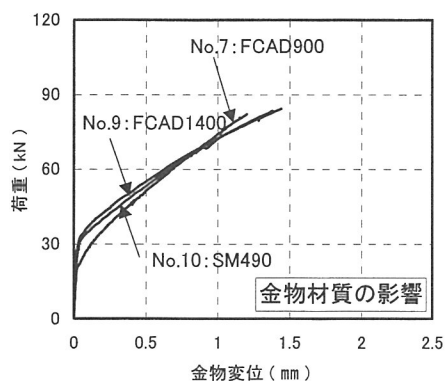


図-13 荷重－金物変位(内端部)

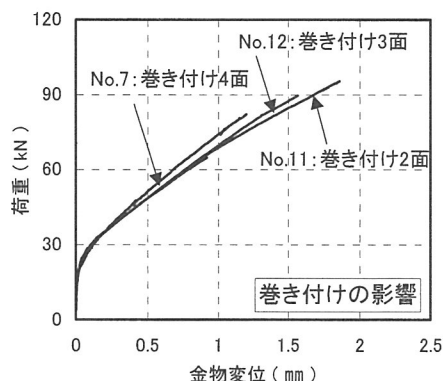


図-14 荷重－金物変位

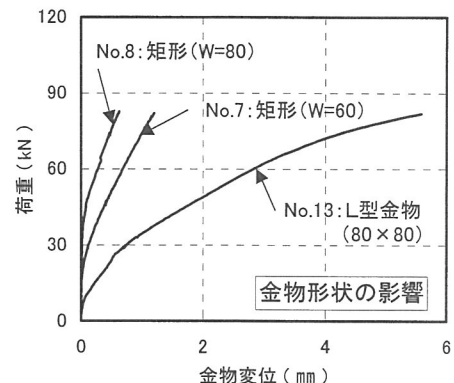


図-15 荷重－金物変位(内端部)

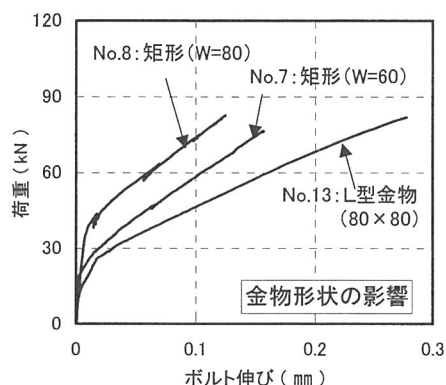


図-16 荷重－ボルト伸び

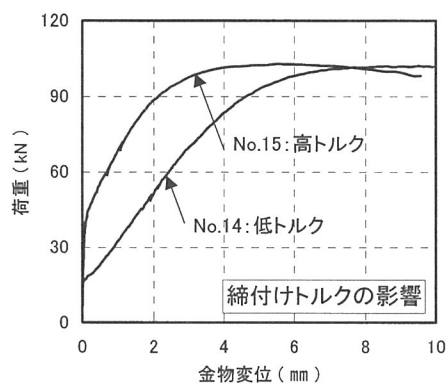


図-17 荷重－金物変位(内端部)

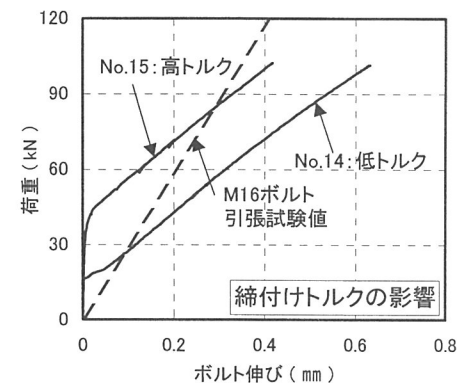


図-18 荷重－ボルト伸び

メータとした2層巻き試験体について、シート荷重と金物の変位量との関係を図-13、図-14に示す。最大耐力および金物の変位量ともに基本試験体と比較して大きな差は見られない。全ての試験体で金物の曲げおよびねじれによる変形は微少であり、また金物からのシートの抜け出しおよびずれも全く発生していない。今回行った実験の範囲内では、材質および巻き付けによる影響は確認できなかった。

5.4 L型金物との比較

今回提案した金物と従来のL型金物について、シート荷重と金物内端部の変位量との関係を図-15に、荷重とボルトの伸びとの関係を図-16に示す。L型金物の最大強度はシートの抜け出しによって決定しており、金物の変位量およびボルトの伸びともに矩形金物と比較して非常に大きくなっている。これはL型金物自身の曲げ変形に加えて、金物形状の違いからボルトに作用するてこ反力が増大し、ボルト張力が大きくなったためであると考えられる。

5.5 ボルト締め付けトルクの影響

ボルトの締め付けトルクをパラメータとした2層巻き試験体について、シート荷重と金物内端部の変位量との関

係を図-17に、荷重とボルトの伸びとの関係を図-18に示す。図-18中の破線はボルトM16の引張試験結果における荷重と長さ15cmあたりの伸びを示したものである。金物内端部の浮き上がりはボルトが伸び始めるのとほぼ同時に発生しており、高トルクで締め付けた金物の離間荷重は低トルクのものより大きくなっている。金物が離間した後のボルトの伸びは両試験体ともほぼ同じ勾配を示しており、ボルト引張試験値の約1/2倍となっている。これは金物内端部が浮き上がったことで、ボルトに作用する張力がてこ反力によって約2倍になったためであると考えられる。

6. まとめ

今回行った実験の範囲で、以下の知見を得た。

- (1) 金物の面取り部近傍でのシートの破断を防止し、かつ金物内端部の浮き上がりを抑制するためには、金物の面取り半径を $r=10\sim15\text{mm}$ とすることが適当である。
- (2) 金物幅を大きくすることで金物の浮き上がりを抑制することができる。
- (3) 今回提案した金物は、従来のL型金物と比較し変形および浮き上がりが小さいことから、シートを拘束す

る効果が高いと考えられる。

- (4) ボルトの締付けトルクを大きくすることによって、金物の離間荷重が大きくなる。
- (5) ボルトの設計には、てこ反力による張力の増大を考慮する必要がある。

今後は、今回提案した金物と炭素繊維シートを用いて補強した壁付き柱について水平載荷実験を行い、その補強効果を確認するとともに、補強強度の定量的な評価を行う予定である。

なお、本研究は鉄建建設㈱との共同研究である。

[参考文献]

- 1) 中澤敏樹・佐藤尚隆・森浩二：炭素繊維シート巻き付けによる鉄筋コンクリート柱の耐震補強効果に関する実験研究、浅沼組技術研究所報、1997.
- 2) 福山洋・藤本効他：連続繊維シートを用いた既存建築物の柱補強に関する実験的研究（その5）直交壁を有する柱の補強効果、日本建築学会大会梗概集、C-2構造Ⅳ、pp249-250、1998.9.
- 3) 日本建築学会：鋼構造塑性設計指針.