

プレート定着型せん断補強鉄筋（Head-bar）の鉄道構造物への  
適用に関する性能評価および技術指導

報告書

平成 15 年 9 月

財団法人 鉄道総合技術研究所

# プレート定着型せん断補強鉄筋 (Head-bar) の鉄道構造物への適用に関する性能評価および技術指導

平成 11 年に刊行された「鉄道構造物等設計標準・同解説 (耐震設計)」(以下、耐震標準)では、鉄筋コンクリート棒部材 (以下 RC 部材) の照査では、破壊モードの判定を行い、曲げ破壊モードの部材については、十分な変形性能を保持することが求められている。RC 棒部材の変形性能は、内部コンクリートの拘束状態や、軸方向鉄筋の座屈に大きく依存する。耐震標準において算定される変形性能は、柱部材を対象に、完全に閉合している横方向鉄筋を用いた供試体により導かれたものであり、また、「鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物)」(以下、設計標準)においても、軸方向鉄筋を取り囲む横方向鉄筋は、閉合型とし、十分に内部コンクリートを拘束しなければならないとなっている。しかしながら、面部材において、閉合型の横方向鉄筋を配置するには、軸方向鉄筋と横方向鉄筋、および配筋筋を複雑な順序で組み立てる必要があり、施工性が損なわれるだけでなく、機械式継手が必要になる場合もある。そこで、横方向鉄筋として、施工性に優れる半円形フックと定着プレートからなる Head-bar が開発された。

本研究は、鉄道開削トンネルの側壁を考慮した面部材のせん断補強鉄筋の定着方法に、半円形フックの代替として Head-bar を用いた場合の交番載荷実験を行った。その結果、本実験の条件下では Head-bar を用いた部材の耐力および変形性能が、従来の閉合型の横方向鉄筋と同等の性能を有していることを確認した。また、あわせて、Head-bar の形式についても考察を加え、部材の耐力および変形性能に及ぼす影響についてまとめたものである。

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート部材のせん断補強鉄筋の定着方法として Head-bar を用いた場合、既往の実験等に基づく研究により、部材の耐力や変形性能は半円形フックを用いた場合と同等以上となることが一部の条件下で確認されている。しかし、鉄道開削トンネルの側壁に用いられるような部材形状、配筋等を考慮した実験等は行われておらず、このような部材に用いた場合の性状は不明である。

鉄道開削トンネルの側壁は、面外方向に曲げおよびせん断を受ける面部材であり、またそのせん断補強鉄筋はコの字形に加工して半円形フックを有する 2 本の鉄筋を組み合わせるとして一組とするなど、柱部材に用いられる配筋とは異なっている。また、これに Head-bar を用いる場合に、かぶせ筋の有無、一本の鉄筋の片側あるいは両側をプレートに置き換えるかなど、いくつかの方法が考えられる。

そこで、鉄道開削トンネルの側壁を考慮し、このような部材に Head-bar を用いた場合の部材の耐力や変形性能に及ぼす影響を把握するため、半円形フックと Head-bar を用いた部材の比較実験ならびに Head-bar を用いた場合の配筋詳細の違いによる比較実験を行って、半円形フックの代替として用いることの可否ならびに配筋詳細の確認を行うものである。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験ケース

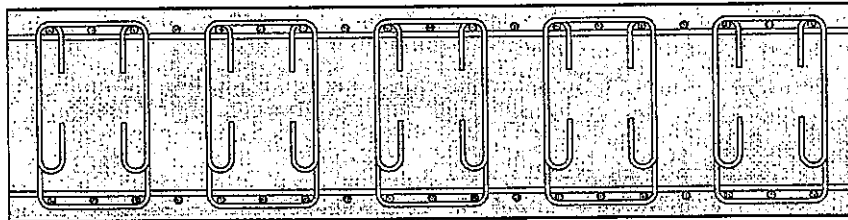
本実験はせん断補強鉄筋の種類と形状のみをパラメータとし、実験ケース数を右図の 4 ケースとした。

### 2.2 供試体諸元

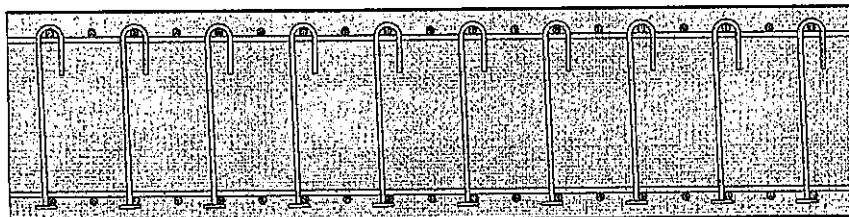
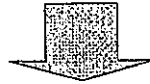
- ・断面寸法 600mm×1060mm の壁部材、せん断スパン比  $a/d=3.15$ 。

- ・主鉄筋は D22@125、芯かぶり 60mm、全断面に対する主鉄筋比は 0.97%。
- ・配力筋は D16@250、主鉄筋の内側に配置。
- ・せん断補強鉄筋は D16@125、主鉄筋を囲い込む。供試体高さ方向には千鳥配置、せん断鉄筋比は 0.60%。
- ・コンクリート設計基準強度は 24N/mm<sup>2</sup> とする。
- ・軸力は 1272kN（軸圧縮応力は 2.0N/mm<sup>2</sup>）とする。

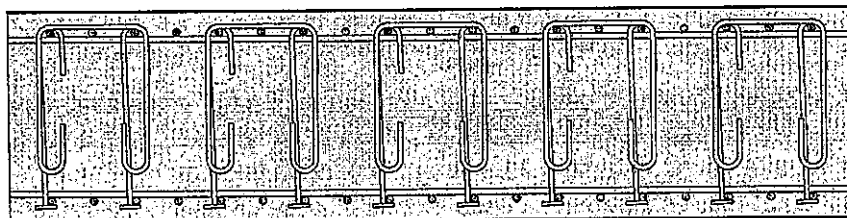
## せん断補強鉄筋の配置形状



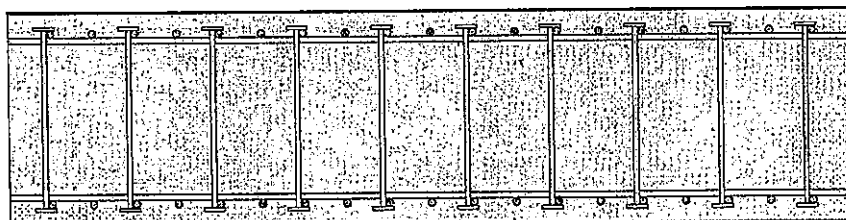
CASE1：鉄道構造物の代表的配筋例（コの字+かぶせ）



CASE2：片端Head-bar



CASE3：片端Head-bar+かぶせ



CASE4：両端Head-bar

### 2.3 加力方法

軸力先行載荷後、水平交番荷重（変位）を加える。水平加力は  $\pm \delta y$  の整数倍変位で3回ずつ繰り返す。

### 3. 結論

本研究では、鉄道構造物として標準的な諸元を有する RC 壁部材において、Head-bar を横方向鉄筋として用いた場合の変形性能の確認実験を行った。

<供試体共通諸元>	<横方向鉄筋の形式>
軸方向鉄筋比：0.01	CASE1：閉合型（現行設計標準）
横方向鉄筋比：0.006	CASE2：Head-bar
軸力比：0.1	CASE3：Head-bar+かぶせ筋
軸方向鉄筋径：D22（SD345）	CASE4：両端プレート型 Head-bar
横方向鉄筋径：D16（SD345）	

CASE1～4 の 4 形式の横方向鉄筋を有する供試体を用いた交番載荷実験により得られた知見を以下に示す。

#### (1) 横方向鉄筋の拘束について

横方向鉄筋が内部コンクリートに作用する拘束効果を推測するため、終局時の横方向鉄筋のひずみについて考察を行った。高さ 250mm の横方向鉄筋の降伏状況は以下のとおりである。なお、ひずみゲージは、中間鉄筋に配置している。

CASE1（閉合型）	: 降伏
CASE2（Head-bar）	: 降伏なし（ $8\delta_y$ の時 500 $\mu$ ）
CASE3（Head-bar+かぶせ筋）	: 降伏なし（ $8\delta_y$ の時 500 $\mu$ ）
CASE4（両端プレート型 Head-bar）	: 降伏

このように、閉合型および、両端プレート型 Head-bar を用いた CASE1、4 では、横方向鉄筋が降伏していることから、CASE2、3 に比べ大きな拘束力が内部コンクリートに作用したと考えることができる。CASE1 は、閉合型の影響と説明することができる。また、終局時の Head-bar の観察から定着プレートは拘束効果が期待できることが推測される。CASE4 は、CASE2、3 に比べ定着プレートの数量が 2 倍であるため、この定着プレートの拘束効果の差が CASE2、3 と CASE4 の終局ひずみの差と説明することもできる。

以上、今回の実験では、内部コンクリートの拘束について、Head-bar の優位性が必ずしも確認されない結果となった。ただし、横方向鉄筋が内部コンクリートに作用する拘束効果が部材の変形性能に与える影響は、本実験に関して、極めて小さいといえる。

#### (2) 軸方向鉄筋の座屈について

RC 棒部材および RC 面部材の変形性能は、軸方向鉄筋の座屈と極めて密接な関係がある。一般に、RC 部材は、軸方向鉄筋の座屈が発生することによって、終局状態を迎えることになる。そこで、各 CASE の軸方向鉄筋の座屈状況について考察を行った。

終局時の軸方向鉄筋の観察から CASE1 の閉合型の場合、コの字に折り曲げられた角部以外では座屈防止の効果が小さいことが観察された。本実験では、横方向鉄筋の径が軸方向鉄筋に対し比較的大きいにも関わらず、CASE1 では横方向鉄筋が軸方向鉄筋と交差しているほとんどの箇所において、軸方向鉄筋の座屈が見られた。

また、CASE2、3 および 4 においては、いずれも横方向鉄筋が軸方向鉄筋を閉合していないため（負側の載荷面に着目）、座屈状況、および変形性能に有意な差は、見られなかった。

### (3) 部材の変形性能について

正負交番繰返し荷重を受ける RC 部材においては、おもに軸方向鉄筋の塑性ひずみ、および横方向鉄筋の拘束により、かぶりコンクリートの剥離、および軸方向鉄筋の座屈が決定し、終局状態に至る。

本研究においては、横方向鉄筋の配筋詳細をパラメータに実験を行った。内部コンクリートの拘束においては、従来の閉合型が有効であると考えられるが、座屈および変形性能の観点では、各形式に有意な差は確認できなかった。また、同時に Head-bar を用いた CASE2、3、4 においても従来の閉合型と同様に、耐震標準において要求される変形性能を有していることが確認された。

以上より、本実験に用いた部材形状、配筋、軸力比等の条件下においては、せん断補強鉄筋の定着方法に、半円形フックの代替として Head-bar を用いても、同等の部材の耐力および変形性能が確保できることが明らかになった。また、Head-bar を用いた場合の配筋詳細について数種類の検討を行ったが、本実験に用いた方法のいずれも大差ない結果となった。

なお、Head-bar を実構造物に適用する場合の留意点として、Head-bar の品質と施工が良好であることが前提である。すなわち、鉄筋とプレートの接合部分で破断する等不良品の生じないように Head-bar 製造時の品質管理を十分に行う必要がある。また施工時には、鉄筋組立て時に軸方向鉄筋を拘束するように正しい位置に配置し、コンクリート打込み時に移動したり脱落したりすることのないよう緊結するなど、良好な施工を行う必要がある。

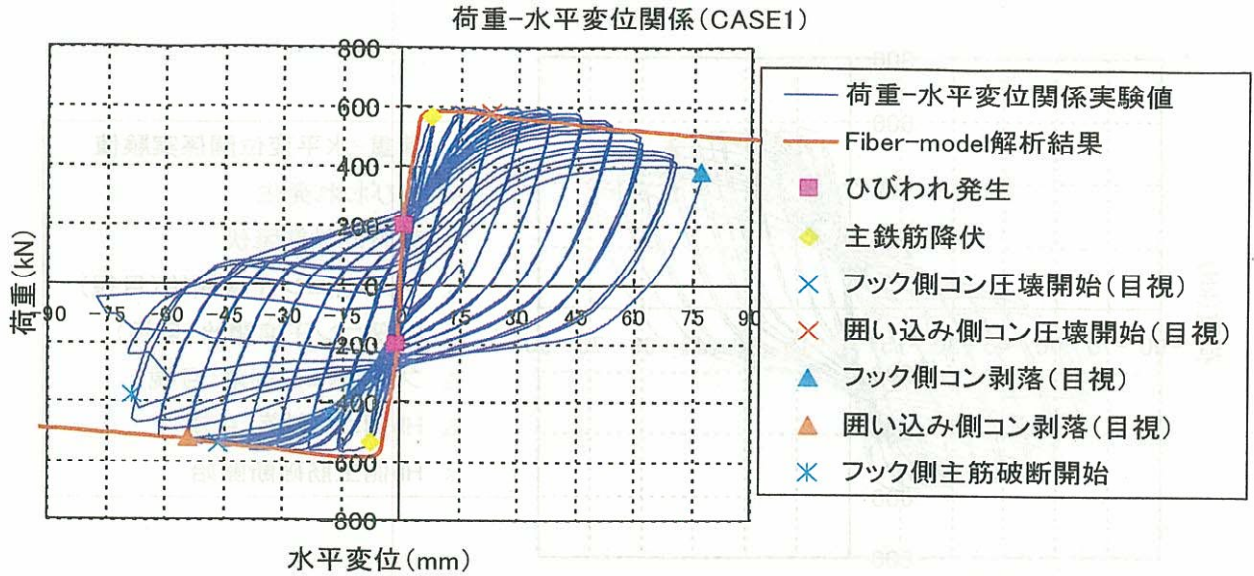
また、今回対象とした部材以外に用いる場合、例えば疲労の影響を受ける部材等に適用する場合は、別途検討が必要である。

担当	構造物技術開発研究部	コンクリート構造
	室長	鳥取誠一
	主任研究員	谷村幸裕
	研究員	田所敏弥

# ●実験結果

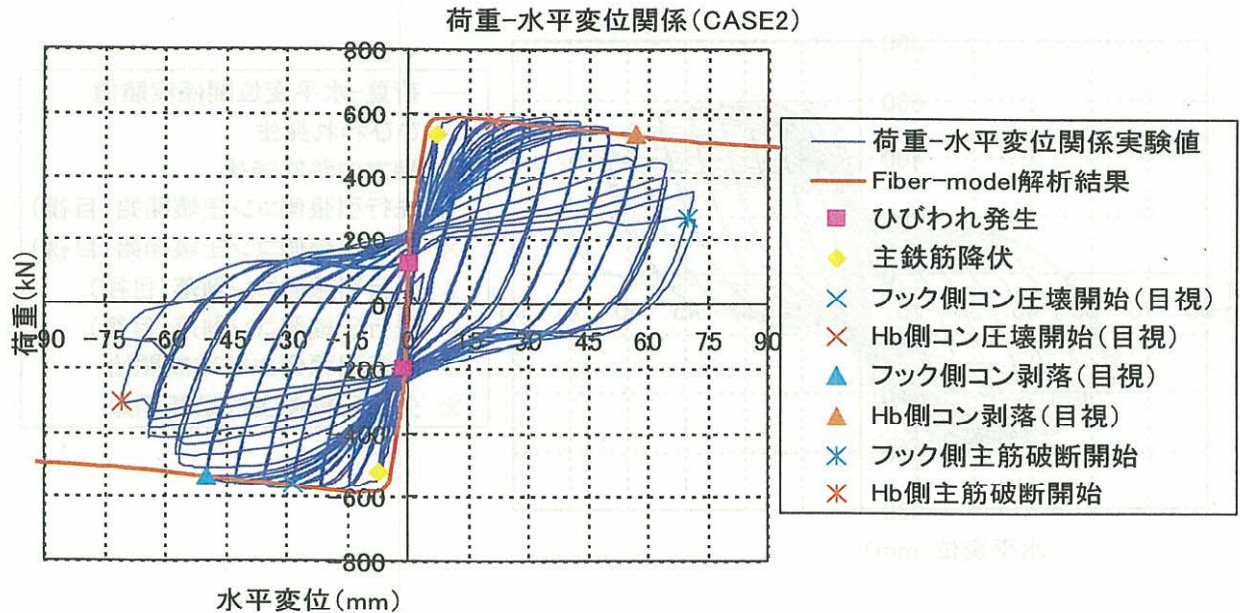
## ※CASE1

632A0※



- ・ひびわれ発生荷重は±200kN、降伏変位は±平均で7.7mmであった。
- ・かぶりコンクリートの剥落は先に圧縮を受けていた南側のほうが顕著であった。
- ・耐力低下の開始時期は、南面でかぶりコンクリートの圧壊、剥落および主筋の座屈した時点とほぼ一致していた。
- ・終局時の部材変形角は正側で1/31、負側で1/36であった。
- ・せん断筋のフックは最後まで内部コンクリートに定着された状態であった。
- ・基部より高さ500mm以上の範囲で軸方向鉄筋が降伏していた。

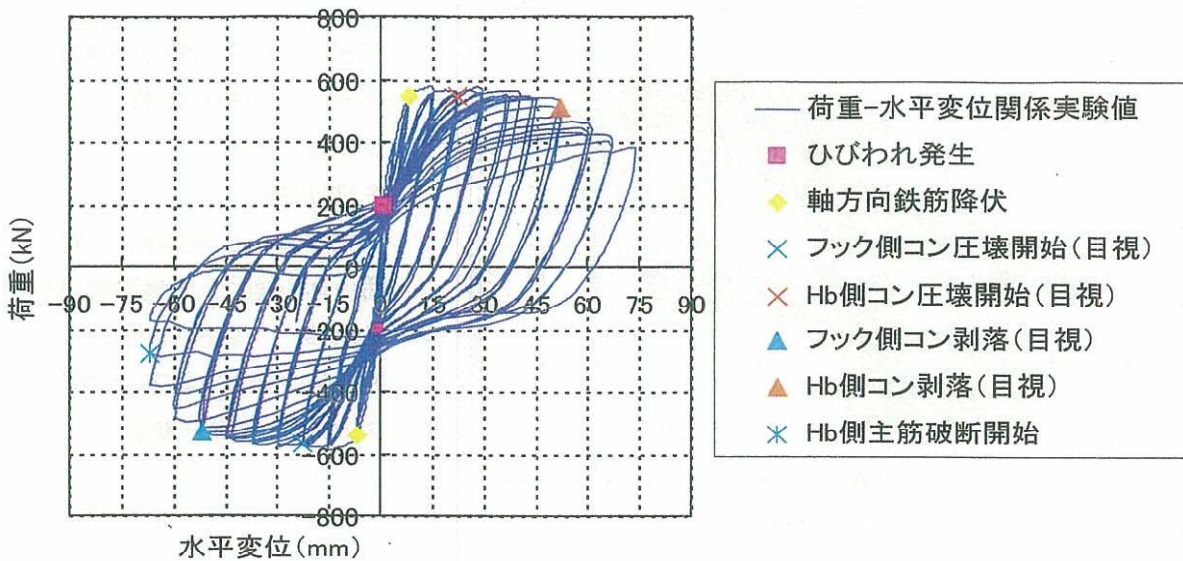
## ※CASE2



- ・ひびわれ発生荷重は、南側で+200kN、北側で+120kN、降伏変位は±平均で7.1mmであった。
- ・耐力低下の開始時期は、かぶりコンクリートの剥落および主筋の座屈した時点とほぼ一致していた。
- ・終局時の部材変形角は正側で1/32、負側で1/33であった。
- ・せん断筋のフックは最後まで内部コンクリートに定着された状態であった。
- ・軸方向鉄筋は、フック側、Hb側とも基部から高さ0~500mmの範囲で降伏していた。

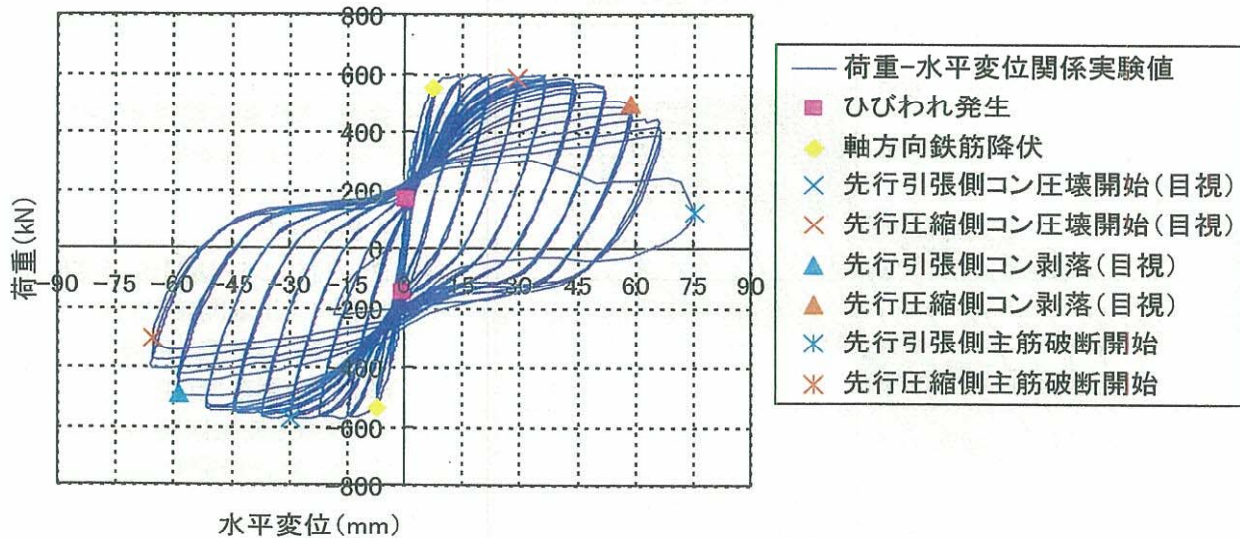


### ※CASE3



- ・ひびわれ発生荷重は、±200kN、降伏変位は±平均で7.4mmであった。
- ・耐力低下の開始時期は、かぶりコンクリートが剥落し、主筋の座屈した時点とほぼ一致していた。
- ・終局時の部材変形角は正、負側で1/37であった。
- ・せん断筋のフックは最後まで内部コンクリートに定着された状態であった。
- ・また、軸方向鉄筋は、コの字かぶせ側、Hb側とも基部から高さ0~500mmの範囲で降伏していた。

### ※CASE4



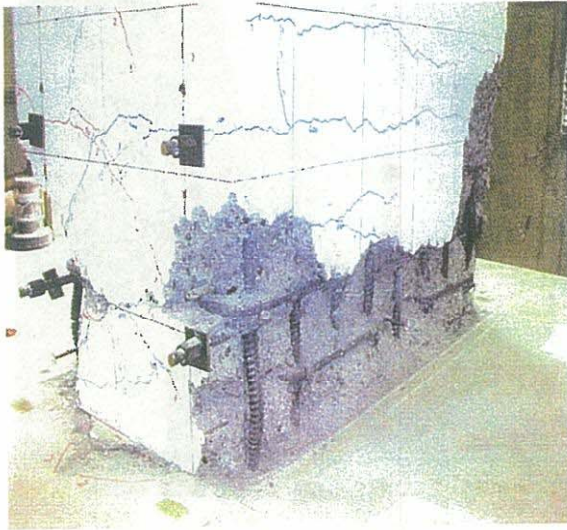
- ・ひびわれ発生荷重は、プラス側で+160kN、マイナス側で-140kN、降伏変位は±平均で7.3mmであった。
- ・耐力低下の開始時期は、かぶりコンクリートが剥落し、主筋の座屈した時点とほぼ一致していた。
- ・終局時の部材変形角は正側で1/32、負側で1/35であった。
- ・軸方向鉄筋は、先行・後行引張り側ともに高さ0~500mmの範囲で降伏しており、特に基部より250mmの位置でひずみは大きな値を示していた。これは、せん断筋の2段目に相当し、せん断筋の高さ方向のひずみ分布と一致しており、せん断筋による主筋座屈防止効果が大きかった。



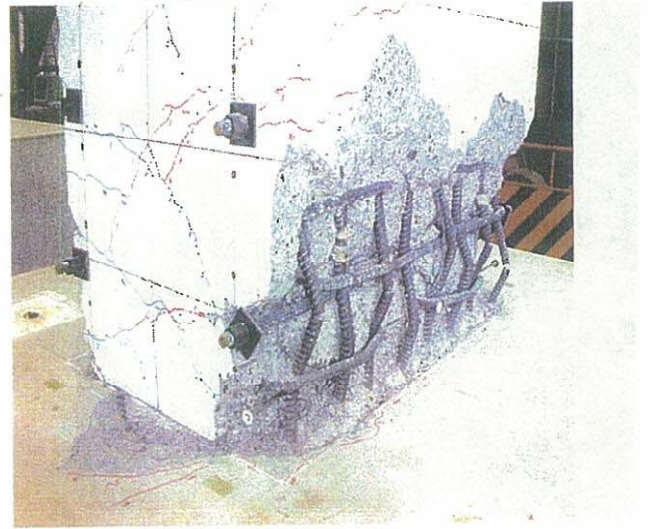
## ●実験終了時の状況

### ※CASE1

かぶせ側：プラス



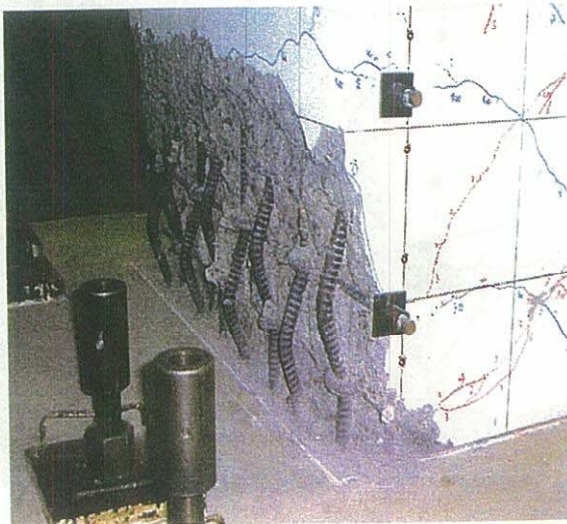
コの字側：マイナス



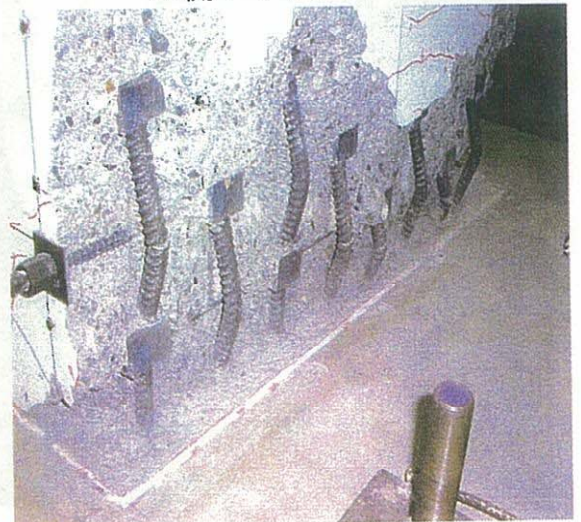
- ・破断した主筋は南面で4本であった。
- ・写真より、南側軸方向鉄筋の座屈の腹は、基部より高さはおおよそ200mmの位置であり、せん断筋のひずみの計測結果とよく一致しており、軸方向鉄筋の座屈がせん断筋により抑制されていることが分かる。また、座屈長は250mm程度であった。
- ・かぶりコンクリートの剥落範囲は、南面で基部より400mm程度、北面で300mm程度であった。

### ※CASE2

フック側：プラス



Hb側：マイナス

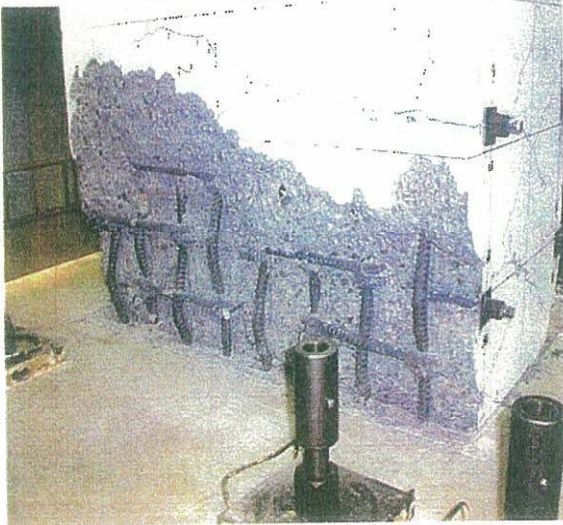


- ・破断した主筋は南面で7本、北面で1本であった。
- ・写真より、軸方向鉄筋の座屈の腹は、基部より高さはおおよそ100mmと200mmの位置であり、せん断筋のひずみの計測結果とよく一致しており、軸方向鉄筋の座屈がせん断筋により抑制されていることが分かる。また、座屈長は250mm程度であった。
- ・かぶりコンクリートの剥落範囲は、南面で基部より300mm程度、北面で400mm程度であった。

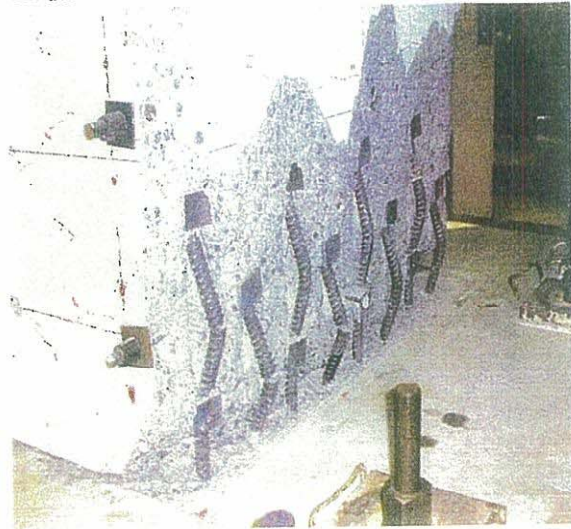


## ※CASE3

かぶせ側：プラス



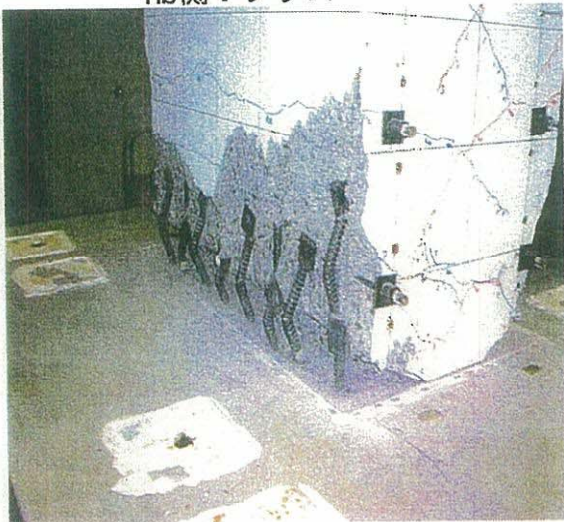
Hb側：マイナス



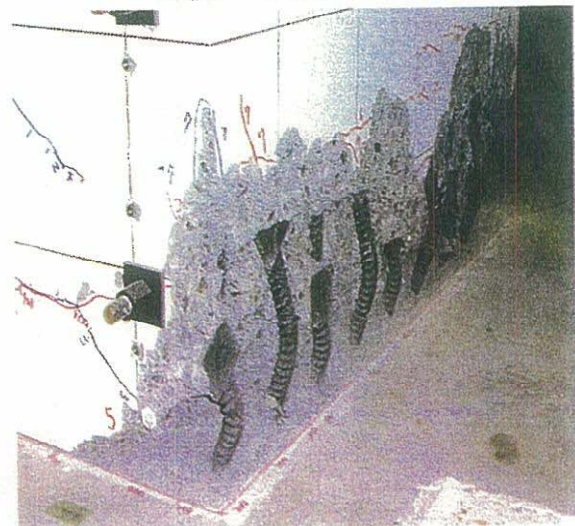
- ・破断した主筋は南面で6本であった。
- ・写真より、軸方向鉄筋の座屈の腹は、基部より高さはおよそ100mmと200mmの位置であった。1段目のせん断筋のひずみは計測出来ていなかったが、おそらく大きなひずみが発生していたものと考えられる。また、座屈長は250mm程度であった。
- ・かぶりコンクリートの剥落範囲は、南面で基部より500mm程度、北面で400mm程度であった。

## ※CASE4

Hb側：プラス



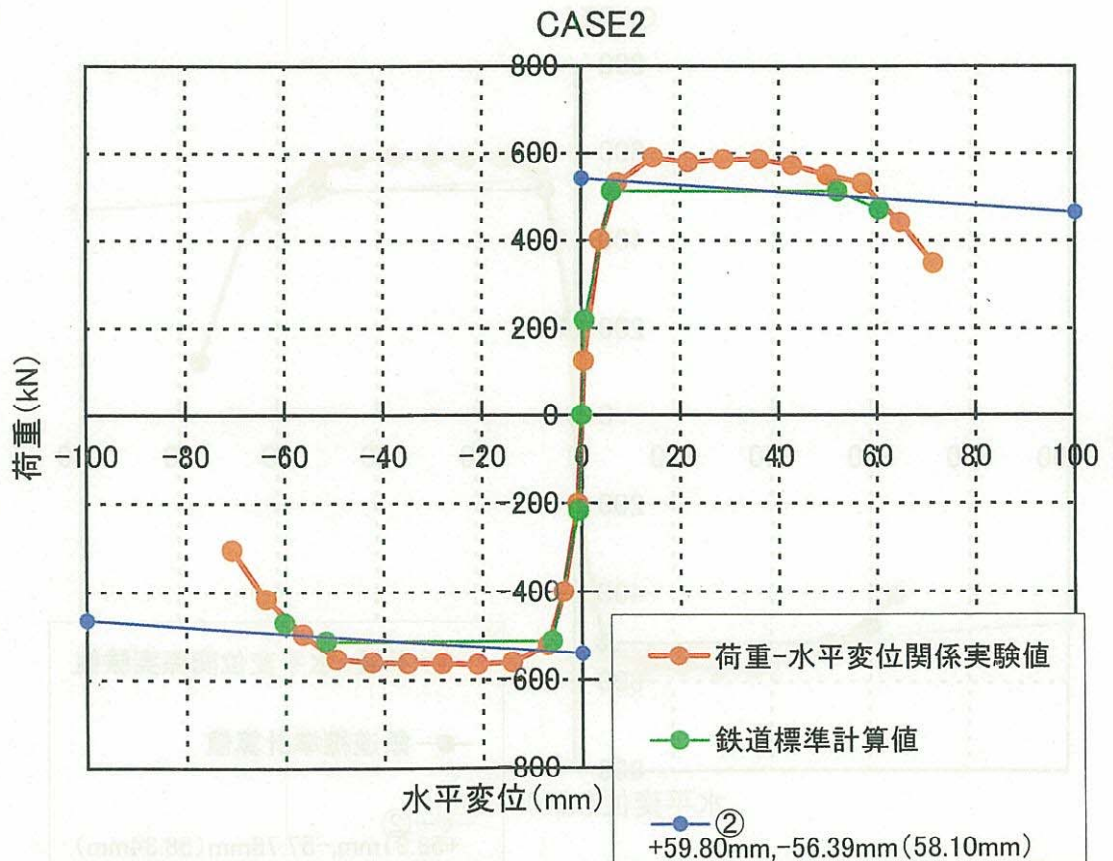
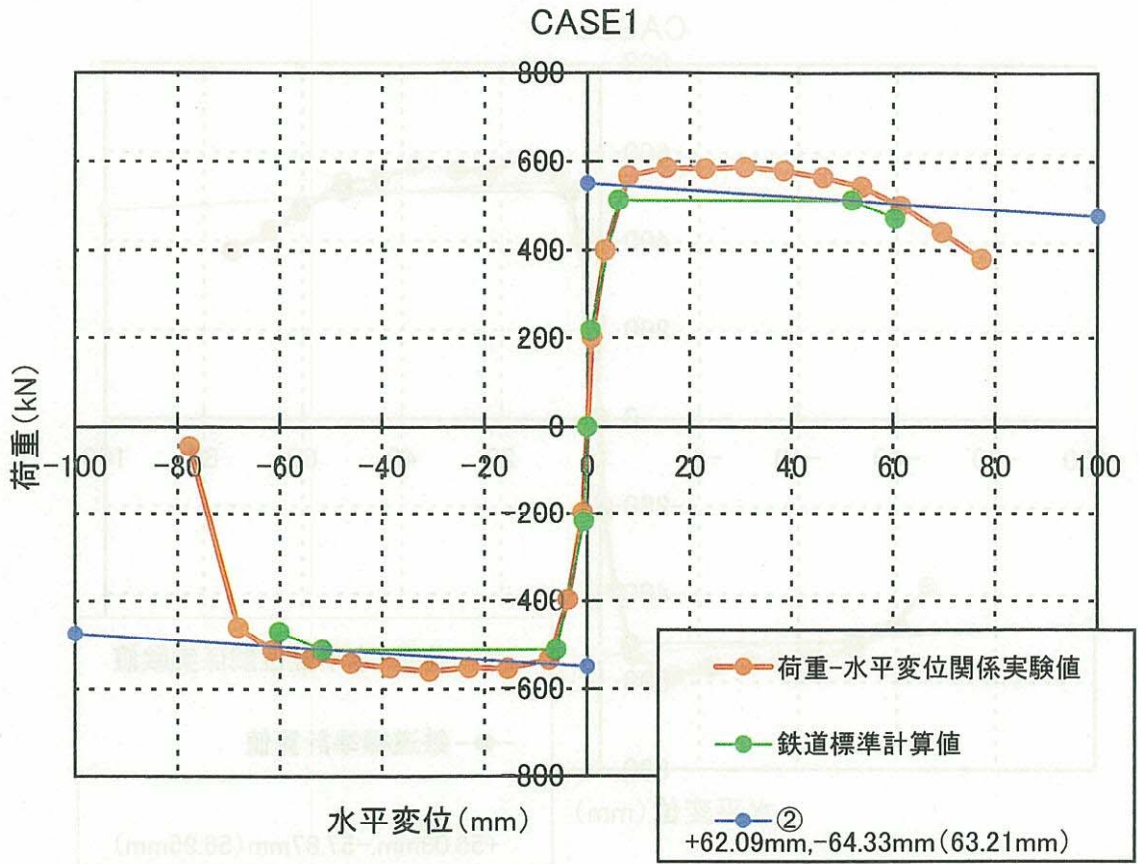
Hb側：マイナス



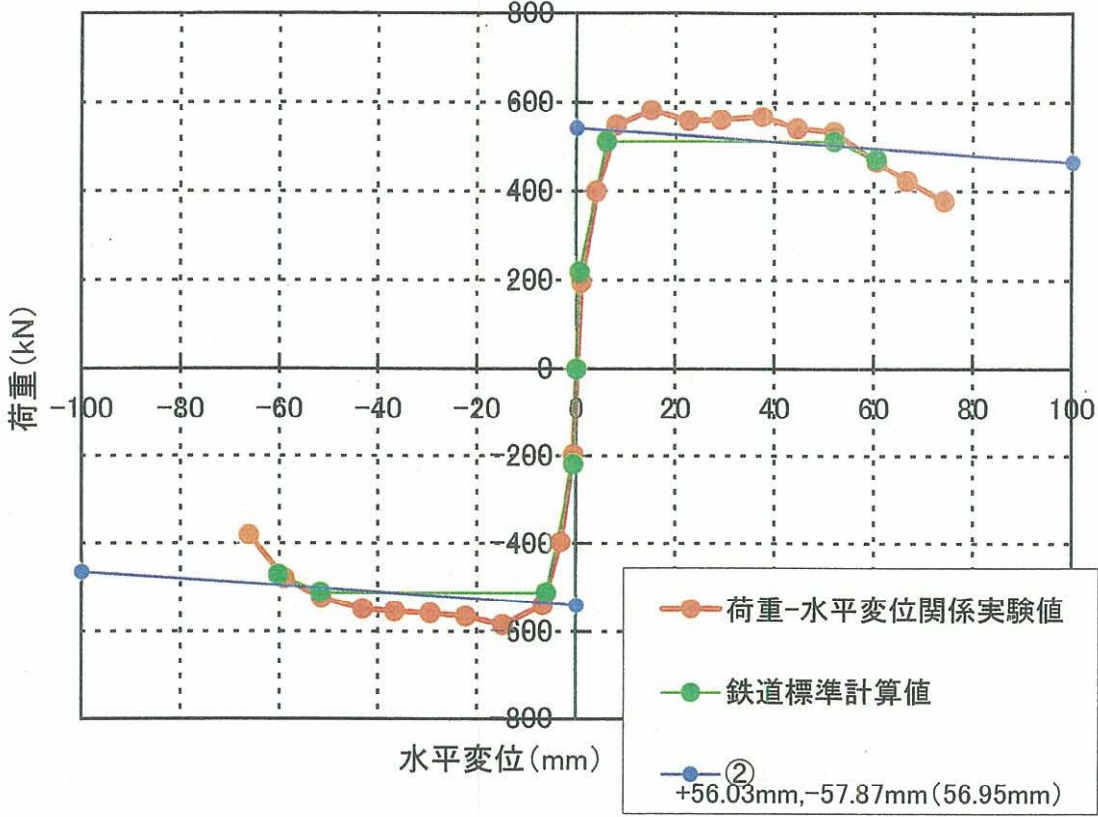
- ・破断した主筋は南面で1本、北面で6本であった。
- ・写真より、軸方向鉄筋の座屈の腹は、基部より高さはおよそ100mmの位置で卓越しているが、せん断筋のひずみの計測結果と一致していない。これは、基部のコンクリートの損傷が小さく、Hbの拘束効果により内部コアコンクリートが健全に保たれていたためであると考えられる。また、座屈長は100mm～250mm程度であった。
- ・かぶりコンクリートの剥落範囲は、南面で基部より300mm程度、北面で400mm程度であった。



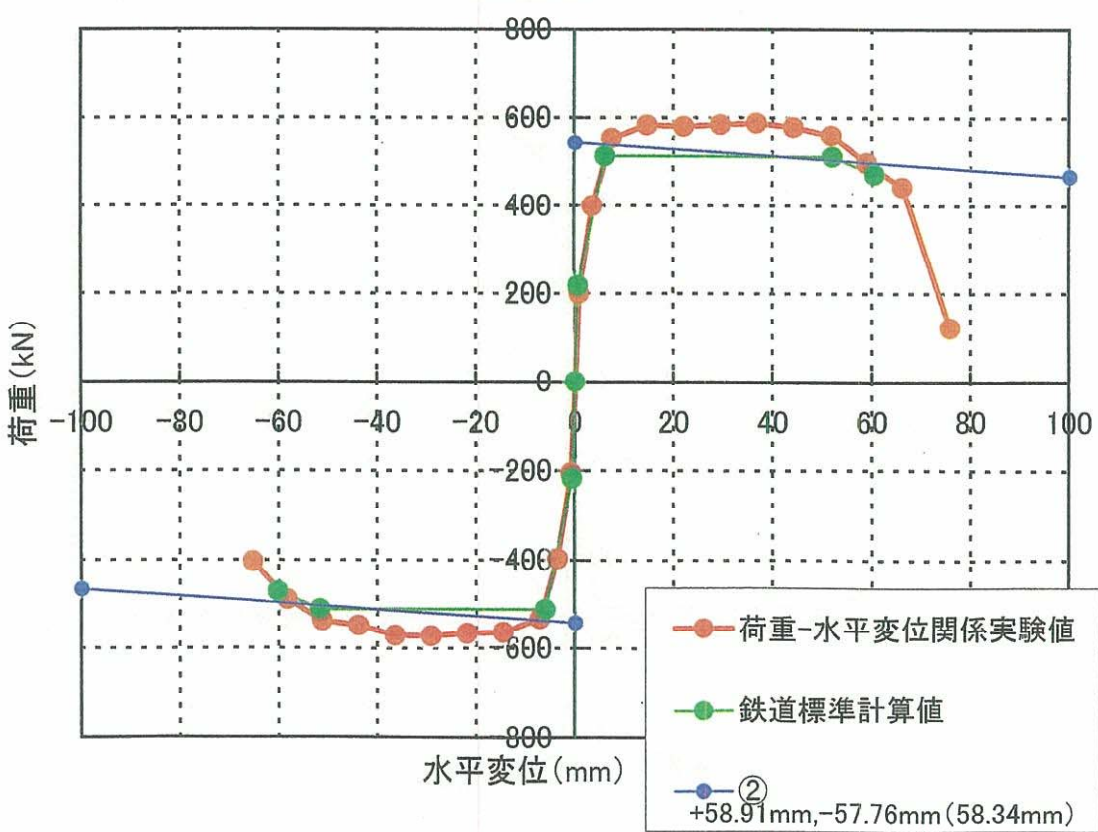
● 実験値と鉄道標準計算値および終局変位比較



CASE3



CASE4





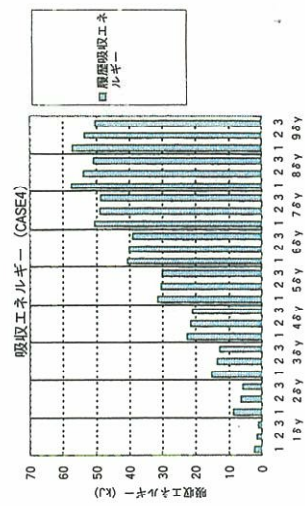
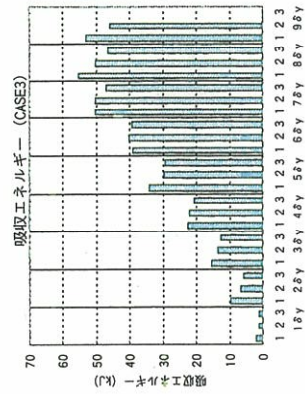
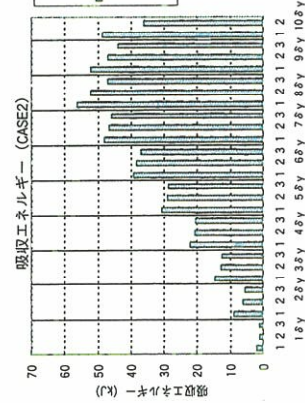
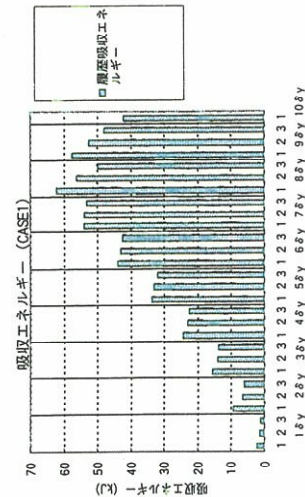
●履歴吸収エネルギー

表5.2.1 履歴吸収エネルギー (kJ)

塑性率	繰返し回数	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
1	1	2.222	1.846	2.040	2.186
	2	1.273	1.218	1.226	1.265
	3	1.147	1.036	1.073	1.140
2	1	9.381	8.713	9.544	8.614
	2	6.547	6.118	6.480	6.407
	3	5.970	5.508	5.770	5.653
3	1	15.642	14.698	15.391	15.171
	2	14.012	12.768	13.398	13.496
	3	13.681	12.425	12.650	12.599
4	1	24.274	22.129	22.407	22.600
	2	23.036	20.534	21.986	21.537
	3	22.428	20.455	20.588	21.038
5	1	33.667	30.583	34.091	31.490
	2	33.124	28.922	29.534	30.235
	3	31.984	28.697	29.320	30.081
6	1	43.760	39.132	39.088	40.647
	2	42.811	38.200	40.038	39.952
	3	42.432	36.972	39.222	38.990
7	1	53.861	47.906	50.355	50.401
	2	53.830	46.660	50.228	48.692
	3	52.953	45.843	47.007	48.395
8	1	62.059	56.310	55.129	57.221
	2	56.181	52.096	50.102	53.794
	3	49.677	46.952	46.511	50.746
9	1	57.507	51.986	53.065	57.115
	2	52.596	46.789	45.935	53.559
	3	47.810	43.940		50.256
10	1	42.133	48.464		
	2		36.086		
	3				
累積値 (7δy-3まで)		528.035	470.363	491.437	490.588

表5.2.2 単位変形角あたりの履歴エネルギー吸収率 (kJ/rad)

塑性率	繰返し回数	変形角	CASE1	変形角	CASE2	変形角	CASE3	変形角	CASE4
1	1	1/220	490.5	1/239	532.0	510.4	517.4		
	2	1/110	281.0	1/230	304.8	292.4	296.4		
	3	1/110	253.3	1/115	274.7	263.6	267.2		
2	1	1/74	1035.6	1/120	1123.1	1077.5	1092.3		
	2	1/74	722.8	1/115	783.8	752.1	762.4		
	3	1/74	659.1	1/77	714.7	685.8	695.2		
3	1	1/55	1151.2	1/80	1248.5	1197.8	1214.3		
	2	1/55	1031.2	1/80	1118.3	1073.0	1087.7		
	3	1/55	1006.9	1/80	1091.9	1047.7	1062.0		
4	1	1/44	1339.8	1/60	1453.0	1394.1	1413.2		
	2	1/44	1271.5	1/60	1378.9	1323.0	1341.2		
	3	1/44	1237.9	1/60	1342.5	1288.1	1305.7		
5	1	1/32	1486.6	1/48	1612.2	1546.9	1568.1		
	2	1/32	1462.6	1/48	1586.2	1521.9	1542.7		
	3	1/32	1412.3	1/48	1531.6	1469.5	1489.7		
6	1	1/37	1610.2	1/40	1746.3	1675.5	1698.4		
	2	1/37	1575.3	1/40	1708.4	1639.1	1661.6		
	3	1/37	1561.4	1/40	1693.3	1624.7	1646.9		
7	1	1/32	1698.8	1/34	1842.3	1767.6	1791.8		
	2	1/32	1697.8	1/34	1841.3	1766.6	1790.8		
	3	1/32	1670.1	1/33	1811.3	1737.8	1761.6		
8	1	1/28	1712.7	1/30	1857.4	1782.1	1806.5		
	2	1/28	1550.4	1/30	1681.5	1613.3	1635.4		
	3	1/28	1370.9	1/29	1486.8	1426.5	1446.1		
9	1	1/25	1410.7	1/27	1529.9	1467.9	1488.0		
	2	1/25	1290.2	1/26	1399.3	1342.5	1360.9		
	3	1/25	1172.8	1/26	1271.9	1220.4	1237.1		
10	1	1/22	930.2	1/24	1008.8	967.9	981.2		
	2	1/22		1/23	36.1				
	3	1/22		1/23					
累積値 (7δy-3まで)		降伏変位	24655.6	26739.2	25655.2	26006.6			





● 単位変計角あたりの履歴エネルギー吸収率

