

# 論文 あと施工補強材を用いた既存 RC 部材のせん断補強効果に関する実験的研究

近藤 祐輔\*1・濱田 真\*1・西内 美宣\*2・大越 靖広\*2

**要旨**：既存鉄筋コンクリート部材を、異形鉄筋、炭素繊維、アラミド繊維、円筒状薄鋼板および軸方向鉄筋によりあと施工でせん断補強することによって、その補強効果の有無を確認する目的で梁のせん断実験を行った。フェーズⅠでは補強量を一定にしてその補強効果を検証し、フェーズⅡでは補強量の違いがせん断耐力に与える影響に関して検証した。その結果、あと施工でせん断補強した場合、せん断補強効果が確認できたとともに、補強量を増加させることがせん断耐力の上昇に寄与していることが確認できた。

**キーワード**：既存 RC、あと施工、あと補強、せん断補強効果、せん断破壊

## 1. はじめに

既存鉄筋コンクリート部材のせん断補強工法として、鋼板や繊維による巻き立て工法、鉄筋コンクリートの増厚などがある。しかし、背面が地盤に接する供用中の地下、または半地下構造物では、構造物の周辺を掘削して地盤改良で補強を行う手段もあるが、都市部においては地上構造物や道路などの影響で工事費用や工期が莫大となり、補強工事は内側から施工という制約を受け、実際にせん断補強を行うのが難しい状況にある。

このような問題に対する補強工法の研究は、小林らの研究<sup>1)</sup>や山村らの研究<sup>2)</sup>があり、片面(一面)からコンクリートを穿孔し、鉄筋を差し込む形式で補強されているが、端部表面はナットと定着板を取り付けており表面に突起が出てしまい不都合が生じる場合がある。差し込んだ鉄筋はスターラップのように主筋を取り囲んでいないため、せん断抵抗機構が異なると予見され、差し込み鉄筋のせん断補強効果を減じて評価設計するものと報告されている。

そこで、あと施工による補強材差し込みのせん断補強効果を確認するために RC 梁部材のせん断実験を行った。また、特殊な補強材を用いた場合や部材軸方向に補強した場合についても確認した。

## 2. 実験概要

### 2.1 あと補強材

実験で使用したあと補強材は(1)異形鉄筋(2)炭素繊維(3)アラミド繊維(4)円筒薄鋼管(5)軸方向鉄筋である(図-1)。異形鉄筋はシンプルかつ加工を最小限にするため、直線鉄筋を用いてせん断補強効果の

検証を行った。また、実施工での様々な場面を想定して、例えば、地下構造物では配管、配線が存在する場所であつ閉狭所での施工が可能な炭素繊維、アラミド繊維の素材のあと補強によるせん断補強効果の検証も行った。

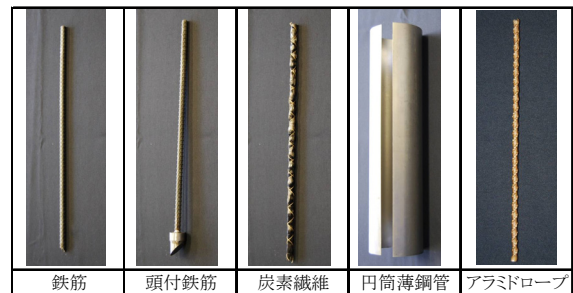


図-1 あと補強材一覧

### 2.2 試験体諸元

試験体一覧を表-1に示す。本実験は2段階で実験を行った。フェーズⅠではあと補強量( $p_w$ :せん断補強筋比)を一定として、その形状、施工方法を変動因子として実験を行った。フェーズⅡではフェーズⅠの結果を踏まえて主にあと補強量を変動因子として実験を行った。試験体はフェーズⅠでは9体、フェーズⅡでは11体の合計20体の梁の試験体である。試験体の形状は山村らの研究<sup>2)</sup>と同断面とし、図-2、図-3に断面形状および配筋状況(▼:載荷点, △:支点)を示す。断面形状は  $b \times D=300 \times 460\text{mm}$ , せん断スパン(試験区間)は  $a=900\text{mm}$ , 純曲げ区間は  $400\text{mm}$ , 支点からの出長さ(定着区間)は  $150\text{mm}$ の全長  $2500\text{mm}$ とした。試験区間のせん断破壊が先行するように、主筋には  $D22$ (SD490)を使用し(引張鉄筋比  $p_f=0.97\%$ ), 有効せいは  $d=400\text{mm}$ である。せん断スパン比は  $a/d=2.25$ とした。

\*1 (株)熊谷組 技術研究所 建築構造研究グループ 工修 (正会員)

\*2 (株)熊谷組 土木事業本部 土木設計部 構造物・耐震グループ 工修

表 - 1 試験体諸元

No.	施工方法	変動因子	せん断スパン比	前補強			あと補強			
				材質	間隔 (mm)	$p_w$ (%)	材質	間隔 (mm)	$p_w$ (%)	
No.1		スターラップなし (無補強)	2.25	-	-	-	-	-	-	
No.2	前	スターラップ	2.25	2-D10 (SD295A)	200	0.264	-	-	-	
フェーズ I	No.3	あと	鉄筋 [上面]	-	-	-	D10 (SD295A)	200	0.264	
	No.4	あと	鉄筋 [下面]	-	-	-	D10 (SD295A)	200	0.264	
	No.5	あと	鉄筋 [千鳥配筋]	-	-	-	D10 (SD295A)	200	0.264	
	No.6	あと	頭付鉄筋 [上面]	-	-	-	D10 (SD295A)	200	0.264	
	No.7	あと	炭素繊維	-	-	-	炭素繊維	200	-	
	No.8	あと	円筒状薄鋼板	-	-	-	$\phi 100(t=0.8\text{mm}, \text{SS400})$	200	-	
	No.9	あと	軸方向鉄筋	-	-	-	D25 (SD345)			
フェーズ II	No.11	あと	鉄筋 [上面]	-	-	-	D10 (SD295A)	200	0.264	
	No.12	あと	鉄筋 [上面]	-	-	-	D10 (SD295A)	133	0.370	
	No.13	あと	鉄筋 [上面]	-	-	-	D10 (SD295A)	100	0.475	
	No.14	あと	鉄筋 [上面]	-	-	-	D10 (SD295A)	67	0.687	
	No.15	前	スターラップ	2.25	2-D10 (SD295A)	200	0.264	-	-	
	No.16	前+あと	スターラップ+鉄筋 [上面]	2.25	2-D10 (SD295A)	200	0.264	D10 (SD295A)	200	0.238
	No.17	前+あと	スターラップ+鉄筋 [上面]	2.25	2-D10 (SD295A)	200	0.264	D10 (SD295A)	100	0.475
	No.18	あと	アラミドロープ [上面]	2.25	-	-	-	アラミド繊維	200	0.264
	No.19	あと	アラミドロープ [上面]	2.25	-	-	-	アラミド繊維	133	0.370
	No.20	あと	アラミドロープ [上面]	2.25	-	-	-	アラミド繊維	100	0.475
	No.21	あと	軸方向鉄筋 (アンボンドPC)	2.25	-	-	-	$\phi 17$ (SBPR930/1080)		

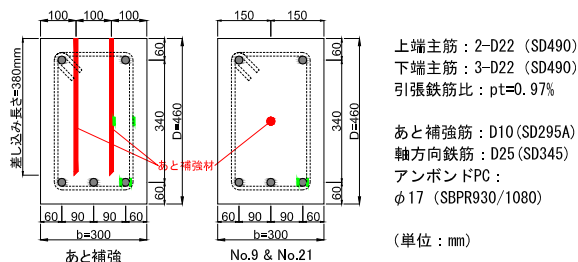


図 - 2 断面形状

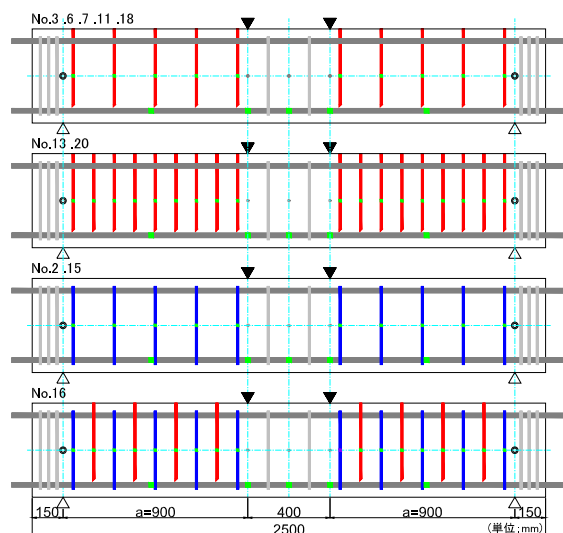


図 - 3 配筋状況

### 2.3 フェーズ I 試験体

フェーズ I の試験体はあと補強方法のもっとも簡便な異形鉄筋を用いた場合を基本として、あと補強量を一定にして実験を行った。No.1 および No.2 の試験体はあと補強材の補強効果を確認するための基準試験体で No.1 は無補強、No.2 はスターラップを配筋した試験体で

ある。No.3~No.6 は鉄筋をあと補強材とした試験体である。No.3 は梁上面から No.4 は梁下面から鉄筋を挿入した。No.5 は鉄筋を梁上面から千鳥状に挿入した。No.6 は端部が頭付 (鉄筋径の 2.5 倍) の鉄筋を梁上面から挿入した。No.7 は炭素繊維シート (目付量:  $300\text{g}/\text{m}^2$ ) を鉄筋と等価となるように棒状に加工した材料を使用し挿入した。No.8 は薄鋼板 (SS400,  $t=0.8\text{mm}$ ) を円筒状に成形したものを挿入した。No.9 は D25 (SD345) を軸方向に配筋した試験体である。

### 2.4 フェーズ II 試験体

フェーズ II の試験体はフェーズ I の結果を踏まえてあと補強量 ( $p_w$ ) が与える影響について検証するために変動因子を決定した。No.11~No.14 は鉄筋の間隔を変化させた。No.11 は No.3 と同じ試験体であり鉄筋を梁上面より @200 で挿入した。No.12~No.14 はそれぞれ鉄筋を @133, @100, @67 で挿入した。No.15~No.17 はスターラップが配筋されている試験体で、あと補強筋の間隔を変化させた。No.15 は No.2 と同じで、スターラップのみが配筋されている試験体である。No.16 はスターラップの間にあと補強筋が 1 組 (図 - 3)、No.17 は 2 組を挿入した。No.18~No.20 は、アラミドロープを使用し間隔を変化させた。アラミドロープの間隔はそれぞれ @200, @133, @100 とした。No.21 はアンボンド PC 棒鋼を配置して軸方向力を与えた試験体である。

### 2.5 あと補強の施工

あと補強はコンクリート強度の発現後にハンマードリルで穿孔作業を行いあと補強材の挿入をした。あと補強材として鉄筋を用いた試験体はセメント系接着剤 (圧縮強度:  $60\text{N}/\text{mm}^2$ ) でコンクリートと一体化を図り、炭素繊維およびアラミドロープを使用した試験体はエポ

キシ樹脂（圧縮降伏強度：120N/mm<sup>2</sup>）でコンクリートと一体化を図った。穿孔径はφ14.5（No.6はφ30）で梁上面（No.4は梁下面）から下向きにコンクリートの穿孔を行った。穿孔の深さ（差し込み長さ）は下主筋の配筋されている位置の手前10mmの380mmとした。これは、下主筋が穿孔によって損傷しないようにするための配慮である。あと補強筋による試験体は、穿孔した孔にセメント系接着剤を入れてから、あと補強筋を差し込んだ。炭素繊維およびアラミドロープによるあと補強は、あらかじめ繊維にエポキシ樹脂を含浸させた状態で孔に差し込み、隙間にエポキシ樹脂を注入して充填させた。No.8は梁上面からコアドリル（φ100）で深さ380mmのスリット状の孔を穿孔し、円筒状薄鋼板（一部分切り取り）をスリットに挿入し、その隙間に無収縮の流動性の高いグラウトにて充填した。No.9の軸方向鉄筋はコンクリート打設時に同時に配置した。No.21の試験体は軸方向にアンボンドPC棒鋼（φ17, B種SBPR 930/1080）を配置し、 $\sigma_0=1.3\text{N/mm}^2$ の軸力を導入した。

## 2.6 荷重方法

試験体の加力装置を図-4に示す。梁両端部下端をピン・ローラーで支持し、梁中央部の上端2点集中一方向荷重とした。支承および加力梁は梁幅と同じであり、試験区間にせん断力が入るように丸鋼を介して支持、加力を行った。荷重P(kN)はロードセルで検出し、試験区間に生じるせん断力は $Q=P/2$ (kN)となる。変形は、支点位置を結ぶ計測フレームから、試験体の中央位置の鉛直方向変位： $\delta$ (mm)を変位計で測定した。ひずみの測定は主筋およびせん断補強材にひずみゲージを貼り付けて測定を行った。

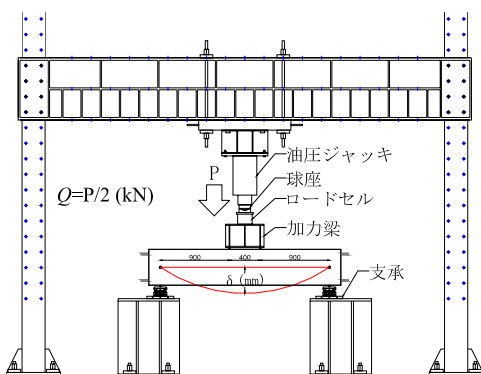


図-4 加力装置

## 3. 実験結果

### 3.1 フェーズ I 実験結果

使用した材料試験結果を表-2に示し、実験結果一覧を表-3に示す。コンクリートの値は実験期間中の材料試験結果を平均した。また、No.3の最終破壊状況を写真-1に示す。各試験体とも荷重点位置の試験体下部に曲

げひび割れが発生し、その後、せん断力の増加に伴って、曲げひび割れが進展し、次第に材軸方向に傾くひび割れが発生した。さらにせん断力を増加することによって荷重点と下部の支点を結ぶ、斜めのひび割れが発生し、徐々にひび割れ幅が大きくなり、最終的に最大荷重に達しせん断破壊をした。

図-5にNo.1~No.6の $Q-\delta$ 関係を重ねたグラフを示す。無補強のNo.1に対して鉄筋であと補強することでせん断耐力が上昇し、補強効果があることが確認できた。また、スターラップがあるNo.2の試験体に対して鉄筋であと補強をしたNo.3~No.6の試験体はNo.2の85%程度の最大荷重となっている。これは、差し込んだ鉄筋がスターラップのように主筋を取り囲んでいなく、せん断抵抗機構が異なるためだと考えられる。頭付鉄筋は支圧効果で耐力上昇が期待されたが、せん断耐力はNo.3とほとんど変わらなかった。No.4の梁下面よりあと補強をした試験体はNo.3よりもせん断耐力が小さかった。これは荷重点近傍でのせん断ひび割れに対してあと補強筋が交差していないために、あと補強筋の効果が現れていないものと思われる。総じて言えることはあと補強筋量を一定にした場合、最大耐力に大きな差異はなかった。

No.7は最大耐力時に、炭素繊維とエポキシ樹脂の界面の付着が切れ、急激に耐力が低下しせん断破壊したが、No.7の最大耐力はNo.2とほぼ同等で、炭素繊維の有効性が確認できた。No.8は円筒薄鋼板に貼り付けたひずみはほとんど進行することなくせん断破壊した。最大耐力は無補強のNo.1のよりも下回り、せん断補強効果が確認できなかった。No.9の軸方向鉄筋はNo.1の最大耐力よりも20%上昇し、補強効果が確認できた。

表-2 材料試験結果（フェーズ I）

設計基準強度	使用箇所	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	割裂強度 N/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 N/mm <sup>2</sup>
Fc21	本体	39.0	2.85	$2.78 \times 10^4$

呼び名	規格	使用箇所	降伏強度 N/mm <sup>2</sup>	降伏ひずみ $\mu$	引張強度 N/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 N/mm <sup>2</sup>
D22	SD490	梁主筋	527	2733	701	$1.93 \times 10^5$
D10	SD295A	補強筋	358	1891	533	$1.89 \times 10^5$
D25	SD345	軸方向鉄筋	378	1963	598	$1.92 \times 10^5$

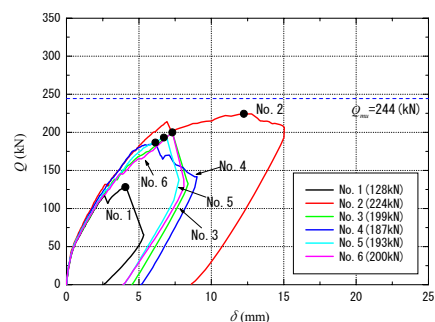


図-5  $Q-\delta$ 関係（フェーズ I）

表 - 3 実験結果一覧 (フェーズ I)

試験体名	施工方法	変動因子	せん断	曲げひび	補強筋降伏		主筋引張降伏	最大荷重	最終破壊モード※	No.2 基準耐力比
			スパン比	割れ強度	前	あと				
			a/d	$Q_{cr}$ kN	$p Q_{wy}$ kN	$a Q_{wy}$ kN	$Q_{my}$ kN	$Q_{max}$ kN		
No.1	-	スターラップなし (無補強)	2.25	37	-	-	-	128	S	0.57
No.2	前	スターラップ	2.25	38	185	-	-	224	S	1.00
No.3	あと	鉄筋 [上面]	2.25	28	-	162	-	199	S	0.89
No.4	あと	鉄筋 [下面]	2.25	29	-	170	-	187	S	0.83
No.5	あと	鉄筋 [千鳥配筋]	2.25	30	-	-	-	193	S	0.86
No.6	あと	頭付鉄筋 [上面]	2.25	34	-	181	-	200	S	0.89
No.7	あと	炭素繊維	2.25	37	-	-	-	220	S	0.98
No.8	あと	円筒状薄鋼板	2.25	35	-	-	-	124	S	0.55
No.9	あと	軸方向鉄筋	2.25	27	-	-	-	153	S	0.68

※ S : せん断破壊 M : 曲げ破壊

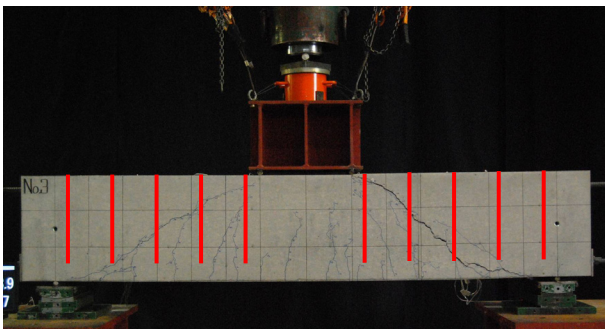


写真 - 1 最終破壊状況 (No. 3)

### 3.2 フェーズ II 実験結果

使用した材料試験結果を表 - 4 に示し、実験結果一覧を表 - 5 に示す。コンクリートの値は実験期間中の材料試験結果を平均した。各試験体ともフェーズ I と同様に曲げひび割れが発生し、その後、せん断力の増加に伴って、曲げひび割れが進展し、次第に軸方向に傾くひび割れが発生し、ひび割れが進展し、最大荷重に達した。

No.14 および No.17 の試験体は曲げ降伏が先行することが予想されたのでせん断スパン比を  $a/d=1.75$  に変更して載荷実験を行った。

図 - 6 に No.11~No.15 の  $Q-\delta$  関係のグラフを示す。これらの試験体はあと補強筋量を変化させた試験体で、あと補強筋量が多いほど、最大荷重が増加することがわかった。しかし、No.13 は曲げ破壊の様相を呈した。

図 - 7 に No.15~No.17 の  $Q-\delta$  関係のグラフを示す。この試験体はスターラップの配筋されている試験体にあと補強筋を差し込んだ試験体である。No.15 はせん断破壊したが、No.16 と No.17 は曲げ破壊であった。このことから鉄筋であと補強する量を増やすことで、せん断破壊する梁を曲げ破壊に移行できることが確認できた。

図 - 9 に No.16 のスターラップ (上段) とあと補強筋 (下段) の各荷重時のせん断補強筋のひずみ分布を示す。横軸はスターラップとあと補強筋が配筋されている位置を、縦軸は各ひずみを示す。同じせん断力時のスター

ラップのひずみがあと補強筋のひずみよりも大きい傾向にある。これは主筋を取り囲んでいるスターラップに比べてあと補強筋のせん断補強効果が小さいためであると考えられる。

図 - 8 にアラミドロープによるあと補強の  $Q-\delta$  関係を示す。アラミドロープの試験体の最大荷重は、アラミドロープと充填したエポキシ樹脂との界面の付着が切れたことによって決まったと思われる、いずれもせん断破壊した。また、アラミドロープもあと補強筋と同様に、あと補強量を多くすることによって最大荷重が増加することが確認できた。

アンボンド PC 棒鋼によって軸方向力を導入した No.21 は、No.9 の軸方向鉄筋のみの場合よりもせん断補強効果が大きくなることが確認できた。

表 - 4 材料試験結果 (フェーズ II)

設計基準強度	使用箇所	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	割裂強度 N/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 N/mm <sup>2</sup>
Fc21	本体	30.2	2.56	$2.46 \times 10^4$

呼び名	規格	使用箇所	降伏強度 N/mm <sup>2</sup>	降伏ひずみ $\mu$	引張強度 N/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 N/mm <sup>2</sup>
D22	SD490	梁主筋	542	2809	717	$1.93 \times 10^5$
D10	SD295A	補強筋	347	1927	523	$1.81 \times 10^5$
D10	SD295A	後補強筋	334	1843	483	$1.81 \times 10^5$

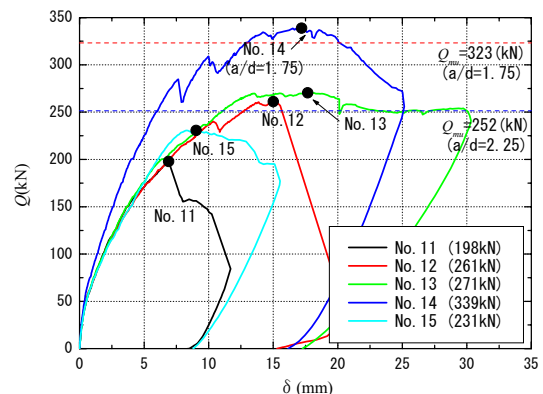


図 - 6 Q - δ (フェーズ II : あと補強)

表 - 5 実験結果一覧 (フェーズⅡ)

試験体名	施工方法	変動因子	せん断 スパン比 a/d	曲げひび 割れ強度 $Q_{cr}$ kN	補強筋降伏		主筋引張 降伏 $Q_{my}$ kN	最大荷重 $Q_{max}$ kN	最終破壊 モード※	No.15 基準 耐力比	
					前	あと					
					$p_w Q_{wy}$ kN	$a Q_{wy}$ kN					
			-								
フェーズⅡ	No.11	あと	鉄筋〔上面〕	2.25	27	-	-	-	198	S	0.86
	No.12	あと	鉄筋〔上面〕	2.25	32	-	172	247	261	S	1.33
	No.13	あと	鉄筋〔上面〕	2.25	42	-	156	254	271	M	1.77
	No.14	あと	鉄筋〔上面〕	1.75	-	-	217	313	339	S	1.47
	No.15	前	スターラップ	2.25	42	159	-	-	231	S	1.00
	No.16	前+あと	スターラップ+鉄筋〔上面〕	2.25	35	201	-	255	271	M	1.17
	No.17	前+あと	スターラップ+鉄筋〔上面〕	1.75	46	336	238	318	345	M	1.49
	No.18	あと	アラミドロープ〔上面〕	2.25	33	-	-	-	174	S	0.75
	No.19	あと	アラミドロープ〔上面〕	2.25	24	-	-	-	204	S	0.89
	No.20	あと	アラミドロープ〔上面〕	2.25	33	-	-	-	224	S	0.97
	No.21	あと	軸方向鉄筋 (アンボンドPC)	2.25	35	-	-	-	166	S	0.72

※ S : せん断破壊 M : 曲げ破壊

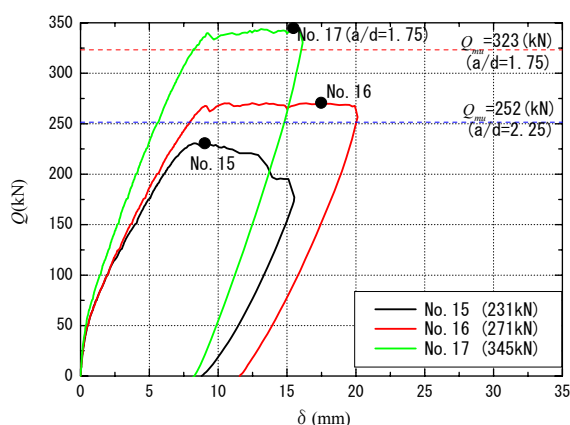


図 - 7 Q - δ (フェーズⅡ : スターラップ+あと補強)

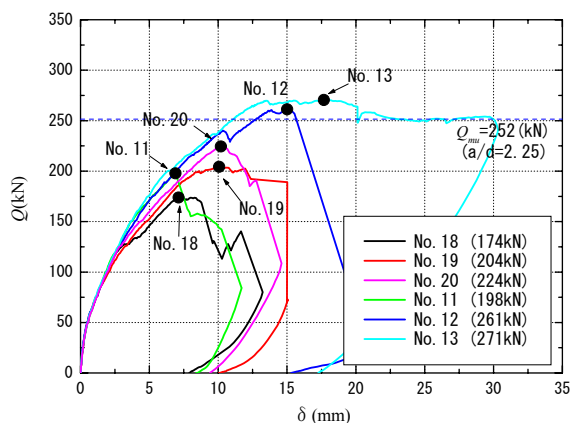


図 - 8 Q - δ (フェーズⅡ : アラミドロープ)

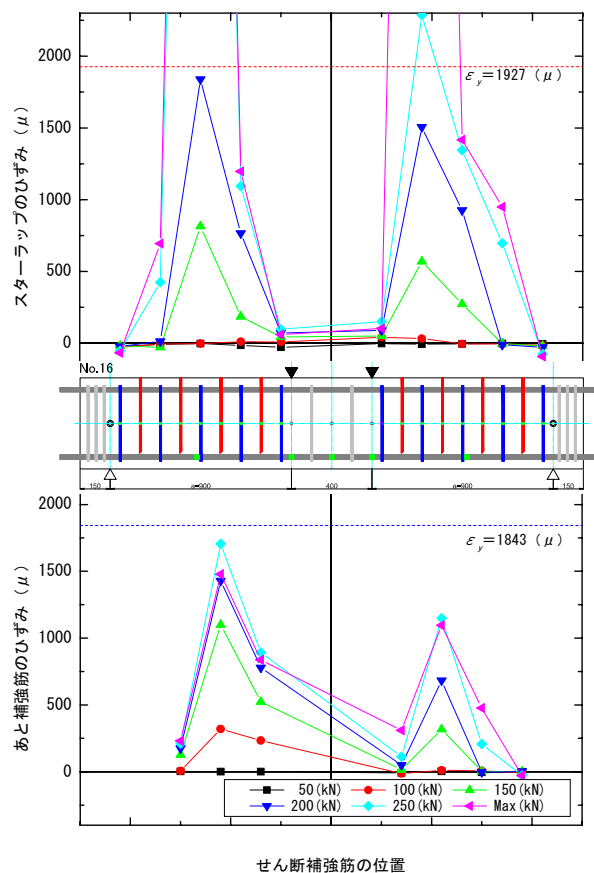


図 - 9 せん断補強筋のひずみ分布 (No. 16)

#### 4. あと補強に鉄筋を用いた場合のせん断耐力

##### 4.1 既往せん断耐力の計算式

既往のせん断耐力評価式 ( $Q_{su}$ ) には, AIJ の荒川 min 式<sup>3)</sup>と JSCE のコンクリート標準示方書<sup>4)</sup>がある。両式とも基本的には式(1)に示すように, コンクリートの負担項 ( $Q_c$ ) と, せん断補強筋負担項 ( $Q_s$ ) の累加式となっている。

$$Q_{su} = Q_c + Q_s \quad (1)$$

$Q_c$  項ではコンクリート強度  $F_c$  が,  $Q_s$  項ではせん断補強筋量 ( $p_w \sigma_{wy}$ ) が主たる変数となっている。そして,

各式における  $F_c$  と ( $p_w \sigma_{wy}$ ) は表 - 6 に示すような関数であらわされている。 $Q_c$  項についてみると, AIJ 式は  $F_c$  に比例して  $Q_c$  は大きくなるが, JSCE 式では  $F_c$  の 3 乗根がかかっており  $Q_c$  の上昇が抑えられている。 $Q_s$  項についてみると, JSCE 式は補強筋の降伏を条件としたトラス理論式で ( $p_w \sigma_{wy}$ ) と  $Q_s$  は比例関係にある。一方, AIJ 式は ( $p_w \sigma_{wy}$ ) に平方根がかかっており  $Q_s$  の上昇が抑制されている。この両式を用いて本実験結果のうちあと補強材として鉄筋を用いた場合の評価を試みることにする。なお, 式の詳細は各参考文献を参照されたい。

## 4.2 あと補強筋の評価方法

実験結果からもあきらかなように、あと補強筋の効果はスターラップに比べて小さくなっている。よって、あと補強筋の効果はそのせん断補筋量に低減係数を乗じて評価するのが妥当であると考えられる。そこで、表-6に示すようにスターラップの項に低減係数( $\alpha$ )を乗じた補強筋を足し合わせて( $Q_s'$ )を評価することにした。

ここでは設計式を提案するのではないので、低減係数は $\alpha=1.0$ として計算し、本評価方法での実験値との適合性について検討するものとする。なお、JSCE式では部材係数を1.0として計算した。

表-6 AIJとJSCEのせん断耐力式評価項の比較

	AIJ式	JSCE式
$Q_c$	$F_c$	$\sqrt{F_c}$
$Q_s$	$\sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}}$	$p_w \cdot \sigma_{wy}$
$Q_s'$	$\sqrt{p_{st} \cdot \sigma_{wy}} + \alpha \cdot p_{post} \cdot \sigma_{wy}$	$p_{st} \cdot \sigma_{wy} + \alpha \cdot p_{post} \cdot \sigma_{wy}$

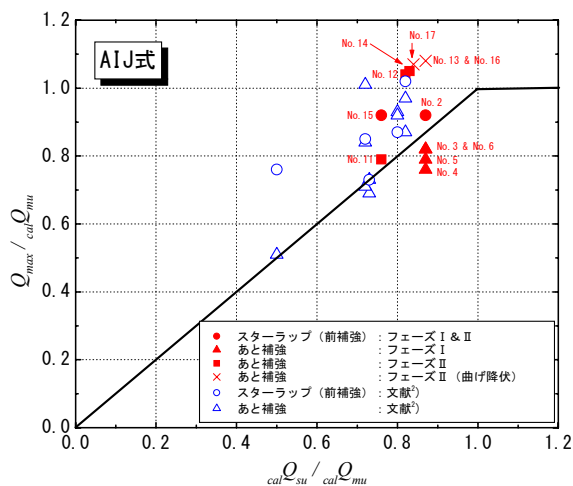


図-10 せん断耐力計算値と実験値の比較 (AIJ式)

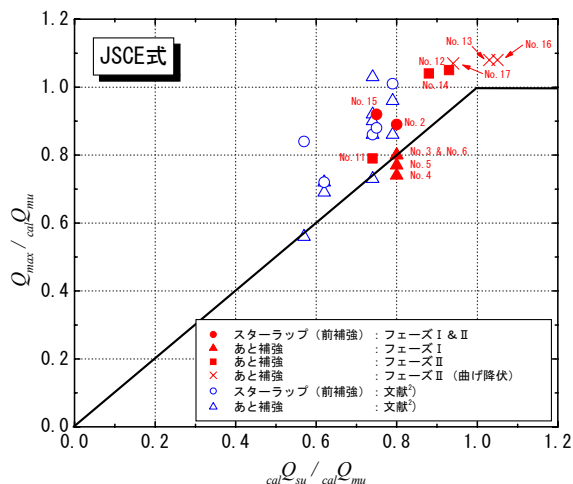


図-11 せん断耐力計算値と実験値の比較 (JSCE式)

## 4.3 実験値と計算値の比較

本実験の検討結果を図-10 および図-11に示す。縦軸は曲げ終局強度計算値( $calQ_{mu}$ )に対する最大強度実験値( $Q_{max}$ )の比、横軸は曲げ終局強度計算値( $calQ_{mu}$ )に対するせん断強度計算値( $calQ_{su}$ )の比である。曲げ終局強度計算値はそれぞれRC規準の曲げ耐力略算式、道路橋示方書<sup>5)</sup>の曲げ耐力式より算出した。また、JSCE式において $a/d=1.75$ の試験体にはせん断圧縮破壊耐力式で算出した。本図には文献<sup>2)</sup>の実験結果も合わせて示した。スターラップ(●と○)についてみると、せん断強度は計算値より実験値が大きい安全側の評価となり、両耐力式のせん断耐力評価には妥当性がある。フェーズIのあと補強(▲)のおよびフェーズII(■)のNo.11は危険側もしくはスターラップの試験体よりも低い実験値になっている。ゆえに、あと補強のせん断強度の評価方法として両耐力式を適用する際には、より安全側の評価を行うために低減係数( $\alpha$ )を導入する必要がある。

## 5. まとめ

- 補強筋差し込みによるせん断補強を行った場合、せん断補強効果が確認できた。
- あと補強筋量を多くすることで、最大耐力が上昇した。
- 既往のせん断耐力式は、低減係数を導入することであと補強のせん断耐力の評価に適用可能である。

## 謝辞

実験計画に際しましては、早稲田大学清宮教授のご指導を賜りました。ここに御礼申し上げます。また、試験体のあと施工補強に際し、コンクリートの穿孔および鉄筋の定着については株式会社ケー・エフ・シーに、炭素繊維とアラミド繊維の定着については前田工織株式会社にご協力して頂きましたことに感謝します。

## 参考文献

- 1) 小林靖典, 小林 亨, 清宮 理: 異形鉄筋の埋込みによるあと施工せん断補強効果に関するはりの載荷実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.2, pp.1549-1554, 2002
- 2) 山村賢輔, 清宮 理: 開削トンネル擁壁部のせん断力に対する鉄筋差込による耐震補強方法, 土木学会論文集, No.777/VI-65, No.1, pp.37-51, 2004.12
- 3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2010
- 4) 土木学会: 2007年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕
- 5) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 共通編・コンクリート橋編, 1996