

# 大開孔と中開孔が近接した RC 造基礎梁のせん断性能に関する実験的研究

## その3 追加実験概要

An Experimental Study on the Shear Behavior of Reinforced Concrete Footing Beams with Web Opening near Smaller Openings  
Part3. Outline of the Additional Experiments

五十嵐治人\*<sup>1</sup> 伊藤 仁\*<sup>2</sup>

### 概 要

建物の基礎梁は、設備用配管のための開孔を多数設ける必要が生じる。通常開孔を設ける際、以下の規定を守ることが望ましいとされている。

- ① 開孔の直径は梁せいの 1/3 以下とする。
- ② 隣り合う開孔の中心間隔は、双方の開孔直径の平均の 3 倍以上とする。

上記②を守るため、開孔を設ける位置は大きな制限を受け、配管を迂回させるなどの対応が必要となり、設備計画、施工とも煩雑となってしまふ。特に、大開孔である人通孔に関しては、開孔を設けられない範囲が大きくなり、影響が大きい。

本研究は、前報その 1、その 2 に引き続き人通孔を模擬した大開孔の両側に中開孔が近接した梁の構造実験を実施した。当初の想定よりも開孔間の耐力は大きく、長方形耐力を確保する必要はないという結論を得ているため、このシリーズでは水平補強筋、開孔部上下補強筋を必要最低限に減じて実験を行った。また、コンクリート強度、せん断スパン比、梁せい、開孔間補強筋量をパラメータとして実施し、最終破壊は開孔上下破壊、開孔間破壊の 2 種類に大別されることが分かった。何れの場合であっても、安全側に耐力を評価できることを確認した。

key words : 有開孔梁、せん断破壊、正負交番漸増増荷実験

### 1. はじめに

前報<sup>1)</sup>では、梁せいの 1/3 の径の大開孔の両側に、梁せいの 1/6 の中開孔を、中心間隔が双方の開孔径平均の 2 倍となる位置に設け、開孔上下の配筋、開孔間のあばら筋比、大開孔の開孔補強金物の有無、中開孔の梁せい方向の偏心などをパラメータとして実験を行った。その結果、概ね既往の設計式を適用しても安全側に耐力を評価できることを確認した。これを受けて、今回は開孔上下の補強筋を大幅に簡素化し、その状態でコンクリート強度、開孔間あばら筋量、内法スパン比、H/D(開孔径/梁せい)をパラメータとして実験を実施した。開孔上下の補強形状は、前報<sup>1)</sup>では開孔間が比較的小さな荷重で破壊しても、これを除いた長方形の開孔として、一定の耐力を保持できることを目的として、補強量を多くした。今回は実施に適用する場合を考えて補強量を減じた。

図-1 に開孔間隔の現行規定、開発概要を示す。

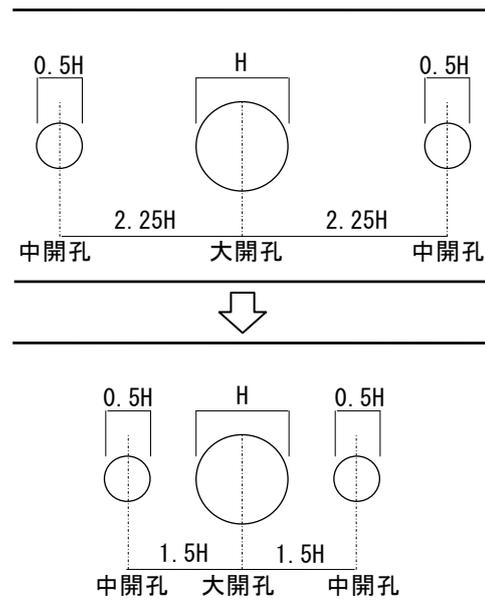


図-1 現行規定、開発概要

\*1 Haruhito IGARASHI

技術本部技術研究所 主席研究員

\*2 Hitoshi ITO

技術本部技術研究所 研究員

表-1 試験体一覧

試験体 No.	梁せい D(mm)	内法長さ Lo(mm)	$\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	水平中心距離 Dp(mm)	補強金物	開孔部上下補強筋		水平補強筋	開孔間あばら筋	中開孔位置(mm)
						大開孔	中開孔			
No.1	750	2,250	30.8	562.5	S6-4 枚	D6-2 組Ⓑ	D6-1 組Ⓑ	2-D6:個別	20-D6	0
No.2	750	2,250	30.8	375.0	S6-4 枚	D6-2 組Ⓑ	D6-1 組Ⓑ	2-D6:連続	20-D6	0
No.3	750	2,250	32.0	375.0	S6-4 枚	D6-6 組Ⓐ	D6-3 組Ⓐ	7-D10:連続	20-D6	0
No.4	750	2,250	32.0	375.0	なし	D6-6 組Ⓐ	D6-3 組Ⓐ	7-D10:連続	20-D6	0
No.5	750	2,250	33.7	375.0	S6-4 枚	D6-6 組Ⓐ	D6-3 組Ⓐ	7-D10:連続	<b>6-D6</b>	0
No.6	750	2,250	33.7	375.0	S6-4 枚	D6-6 組Ⓐ	D6-3 組Ⓐ	7-D10:連続	20-D6	<b>125</b>
No.11	750	2,250	28.7	375.0	S6-4 枚	D6-2 組Ⓓ	D6-1 組Ⓒ	2-D6:個別	20-D6	0
No.12	750	2,250	<b>19.7</b>	375.0	S6-4 枚	D6-2 組Ⓓ	D6-1 組Ⓒ	<b>2-D10:個別</b>	20-D6	0
No.13	750	2,250	31.0	375.0	S6-4 枚	D6-2 組Ⓓ	D6-1 組Ⓒ	<b>2-D10:個別</b>	<b>12-D6</b>	0
No.14	750	<b>1,350</b>	29.5	375.0	S6-4 枚	D6-2 組Ⓓ	D6-1 組Ⓒ	<b>2-D10:個別</b>	20-D6	0
No.15	<b>1,000</b>	<b>1,800</b>	31.7	375.0	S6-4 枚	D6-2 組Ⓓ	D6-1 組Ⓒ	<b>2-D10:個別</b>	20-D6	0
共通事項	梁幅 b=300mm 大開孔径 250mm 中開孔径 125mm 補強金物(中開孔): S8-2 枚 主筋: 上端下端 4.4-D16 一般部あばら筋: 2-D6@70 有効せい: D-80mm 開孔部上下補強筋欄のⒶ~Ⓓは形状を示し、図-2 に対応する。 試験体 No.1~No.6 は前年度実施済 水平補強筋について、「個別」は各開孔に設けたもの、「連続」は全ての開孔を 1 本の鉄筋で設けたものを示す									

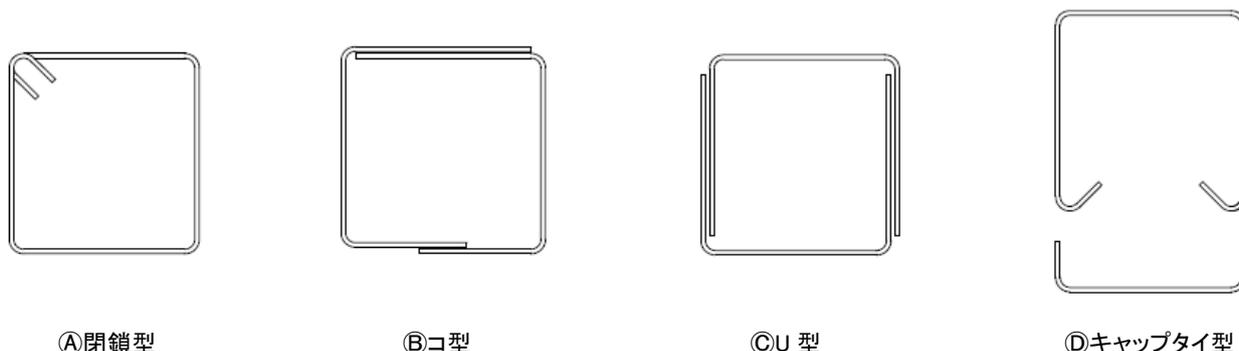


図-2 開孔部上下補強筋形状

2. 実験概要

2.1 試験体一覧

試験体一覧を表-1 に示す。参考のため、前報<sup>1)</sup>にて報告した試験体 No. 1~No. 6 の仕様も併せて示す。これらは試験体名表記部分を網掛けして示す。以下に、試験体計画の概要を示す。

No. 11: 前年度実施した従来工法試験体 No. 1 について、水平中心距離を 562.5mm(開孔径平均の 3 倍)→375mm(同 2 倍)とした試験体

No. 12: No. 11 に対して、コンクリート強度を Fc30→Fc21、水平補強筋を D6→D10 とした試験体

No. 13: No. 11 に対して、開孔間あばら筋を 20 本→12 本、水平補強筋を D6→D10 とした試験体

No. 14: No. 11 に対して、内法スパンを 2,250mm (Lo/D=3.0)→1,350mm (Lo/D=1.8)、水平補強筋を D6→D10 とした試験体

No. 15: No. 14 に対して、開孔径を変えず、Lo/D=1.8 のまま梁せいを 1,000mm、水平補強筋を D6→D10 とした試験体

試験体 No. 11 を今回の実験シリーズのプロトタイプとして、No. 12~No. 15 がこれよりパラメータとして変更した部分を太字で示す。表-1 中に開口部上下補強筋の配筋形状をあわせて示す。Ⓐ、Ⓑ、Ⓒ、Ⓓの表記は図-2 に示す通りである。今回の実験は、大開孔上下はⒹ、中開孔上下はⒸとした。また、Ⓓの場合、キャップを被せるのは上側、下側とも開孔に近い側とした。これらは、基礎梁を施工する際は耐圧盤上端でコンクリートを打ち継ぐことを想定し、耐圧盤コンクリート打設後に開孔補強製品を配筋できるよう配慮したものである。

水平補強筋本数は開孔部上下補強筋を配筋するため 2 本、開孔部上下補強筋組数は、大開孔上下 2 組、中開孔上下 1 組とし、何れも最小とした。

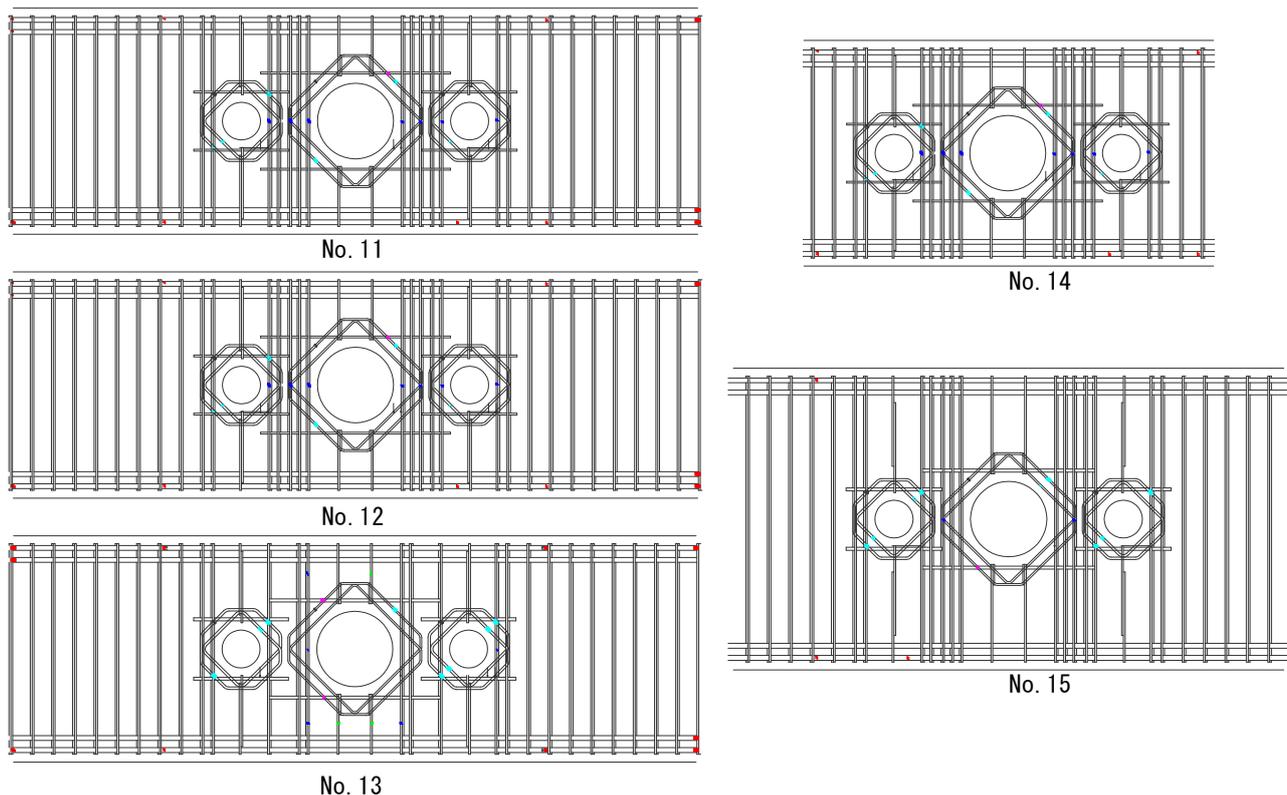


図-3 試験体配筋図

表-2 鉄筋材料試験結果

種別	規格	使用部位	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏ひずみ (μ)	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	破断伸び (%)	備考
D16	熱処理品	梁主筋	995	5,462	1038	182,000	7.8	*1:0.2%オフセット法による。 *2:試験体 No. 11 の水平補強筋は D6
D6	SD295A	せん断補強筋他*2	380*1	2,154	516	177,000	14.5	
D10	SD295A	水平補強筋	377	2,152	517	175,000	15.0	
S6	KSS785	補強金物	936*1	5,042	1166	186,000	10.8	
S8	KSS785	補強金物	986*1	5,359	1146	184,000	8.3	

表-3 コンクリート材料試験結果

試験体	目標強度 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
No. 11	30	28.7	27200	2.62
No. 12	21	19.7	24700	1.70
No. 13	30	31.0	27300	2.57
No. 14	30	29.6	26900	2.51
No. 15	30	31.7	28100	2.70

試験体配筋図を図-3に示す。表-1に示す通り、主筋、一般部あばら筋、中開孔の配筋は5体とも同一とした。水平補強筋の長さは、No. 11はNo. 1と同一として大開孔は625mm、中開孔は312.5mmとした。No. 12~No. 15の大開孔では562.5mmとした、これは、開孔が近接した場合でも隣の開孔の被り部分に干渉しない値として決めた。また、No. 2~No. 6より変更した事項として、水平補強筋は各開孔に個別配置とした。これは、図-3に示すように、各開孔に個別の水平補強筋を配筋するもので、No. 2~No. 6は1本の鉄筋を折曲げて配筋する連続配置であった。これは開孔間が破壊しても、長方形開孔として一定の耐力の確保を目的としたものだが、No. 2~No. 6の実験結果より、その必要はないと判断したため、個別配置とした。よって、No. 11~No. 15の水平補強筋は、開孔上下に梁型を組むこと、開孔からのひび割れの進展を抑えることを目的として配筋した。

## 2.2 使用材料

試験体に使用した材料のうち、鉄筋に関する試験結果を表-2に示す。一般部、および開孔間、孔際を使用した補強筋 D6、および補強金物使用した S6、S8 は明確な降伏点を示さない性状であったため、降伏強度は0.2%オフセット法により算出した。これらの降伏ひずみは、降伏強度をヤング係数で除して求めた。

コンクリートに関する試験結果を表-3に示す。Fc30

を目標とした試験体 No. 11、No. 13～No. 15 は概ね当初の予定通りの強度を発揮した。Fc21 を目標とした試験体 No. 12 は、目標に対してやや低めの強度となった。Fc30 を目標とした試験体は 28.7 ～ 31.7N/mm<sup>2</sup> であり、No. 1～No. 6 が 30.8 ～ 33.7 N/mm<sup>2</sup> であったのに対して若干低い結果となった。しかしながら、概ね目標通りの圧縮強度が得られた。

### 2.3 荷重方法

実験に使用した荷重フレームを写-1 に示す。これは試験体 No. 1～No. 6 と全く同様に、微小な鉛直荷重をかけながら、水平ジャッキで逆対称加力となるように正負交番繰返して水平力を漸増荷重して実施した。

加力サイクル、ひび割れ幅の計測方法も No. 1～No. 6 と同様に行った。

### 3. 実験結果

実験結果のうち、全ての試験体のせん断応力(τ)－変形角(R)関係を比較した結果を図-4 に示す。ここで、縦軸は試験体にかかるせん断力を一般部の(幅)×(応力中心間距離)で規準化した値とした。No. 15 のみ応力中心間距離は他の試験体と異なる。(a)～(e)に各試験体のτ－R関係、(f)に全ての試験体の包絡線を比較した図を示す。図中、式1)による結果も併せて示す。式1)は現行の開孔補強金物製品の設計式を基に示した式である、補強金物の降伏強度<sub>d</sub>σ<sub>y</sub>は式2)に示すように、コンクリートの設計基準強度により上限を設けているが、ここでは表-3 に示す材料試験によって得られたコンクリート圧縮強度とした。開孔補強金物比 p<sub>wd</sub>、開孔周囲あばら筋比 p<sub>ws</sub> の算定は、前報<sup>1)</sup>と同様の方法を用いた。試験体の開孔周囲あばら筋強度を表-4 に示す。

開孔周囲あばら筋降伏強度<sub>s</sub>σ<sub>y</sub>は、実験で試験体の最大耐力時に確認されたひずみの値より計算される応力値とした。これは、鉄筋には明確な降伏点がないため、実状に応じて実験値と計算値を比較するために行った。ただし、全ての孔周囲あばら筋が最大耐力時に表-2 に示す降伏ひずみに達していなかった試験体 No. 11、No. 12 は、表-2 に示す降伏強度値とした。これらの数値、仮定を用いて式1)により算出された各試験体のτ<sub>SUO</sub>、および実験での最大応力τ<sub>max</sub>を表-5 に示す。

図-4、表-5を見ると、以下のことが分かる。

- a) 全ての試験体とも、最大応力値は式1)による計算値を上回った。
- b) 最大応力が生じた変形角は、No. 11、No.12 は R=1/150 付近、No. 13、No. 14 は R=1/67、No. 15 は R=1/100 であった。No. 13、No. 14 は R=1/100 時点の応力がほぼ最大応力値であった。



写-1 荷重フレーム

$$\tau_{SUO} = \frac{0.053 p_t^{0.23} (\sigma_B + 18)}{M / (Q \cdot d) + 0.12} \left( 1 - 1.61 \frac{H}{D} \right) + 0.85 \sqrt{p_{wd} \cdot d \sigma_y + p_{ws} \cdot s \sigma_y} \dots \text{式1)}$$

ただし、 $M / (Q \cdot d) < 1.0$  なら  $M / (Q \cdot d) = 1.0$

$$M / (Q \cdot d) > 3.0 \text{ なら } M / (Q \cdot d) = 3.0$$

$$d \sigma_y = \min \{ \max(20 \sigma_B, 40 \sigma_B - 540), 25 \sigma_B \} \dots \text{式2)}$$

ここで、

p<sub>t</sub> : 引張鉄筋比 (%)

σ<sub>B</sub> : コンクリート圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

M / (Q · d) : せん断スパン比 (=0.5L<sub>o</sub>/d)

H : 大开孔の直径 (mm)

D : 梁せい (mm)

p<sub>wd</sub> : 開孔補強金物鉄筋比

<sub>d</sub>σ<sub>y</sub> : 開孔補強金物降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)

p<sub>ws</sub> : 開孔周囲あばら筋比

<sub>s</sub>σ<sub>y</sub> : 開孔周囲あばら筋降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)

表-4 開孔周囲あばら筋の計算上の降伏強度

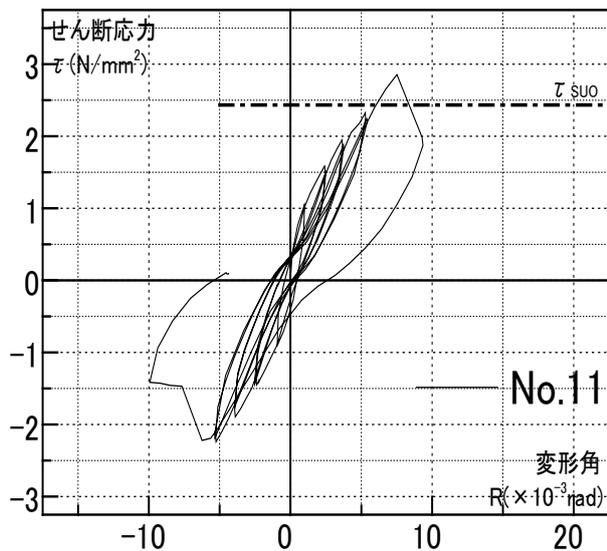
試験体	No. 11	No. 12	No. 13	No. 14	No. 15
降伏強度	380	380	411	393	423

\*実験で最大耐力時に生じたひずみ値より算出

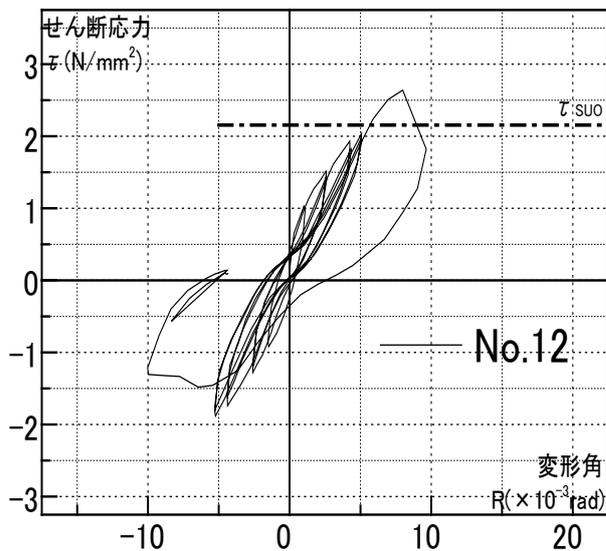
表-5 τ<sub>SUO</sub>、τ<sub>max</sub>の比較

試験体	No. 11	No. 12	No. 13	No. 14	No. 15
τ <sub>SUO</sub>	2.432	2.154	2.358	2.839	2.896
T <sub>max</sub>	2.893	2.639	3.053	3.246	3.489
T <sub>max</sub> /τ <sub>SUO</sub>	1.189	1.225	1.295	1.143	1.205

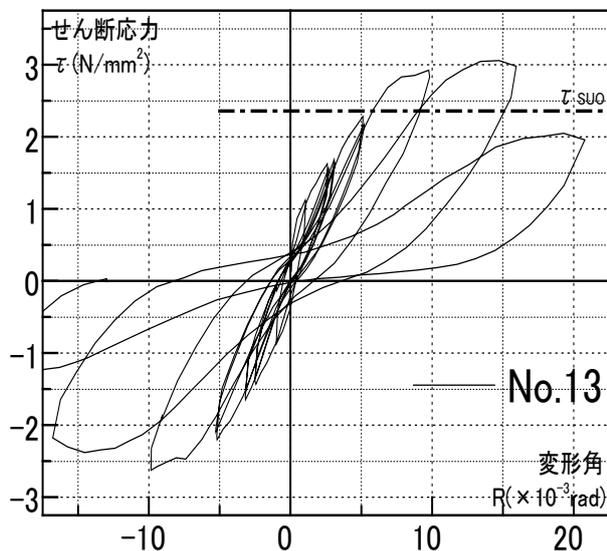
\*τ<sub>max</sub> : 実験結果最大耐力時応力



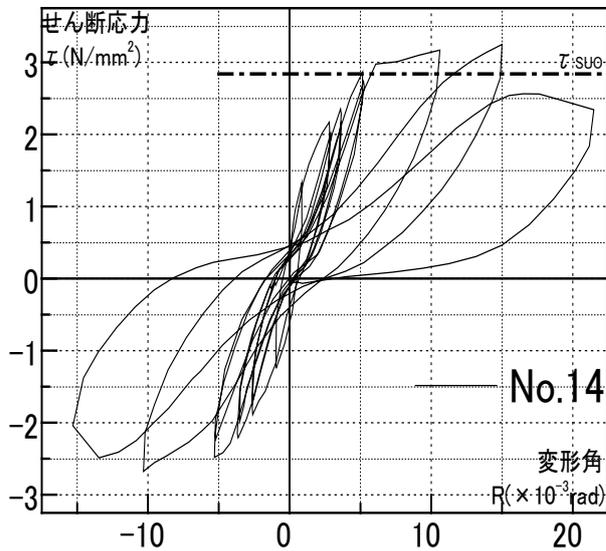
(a) 試験体 No. 11



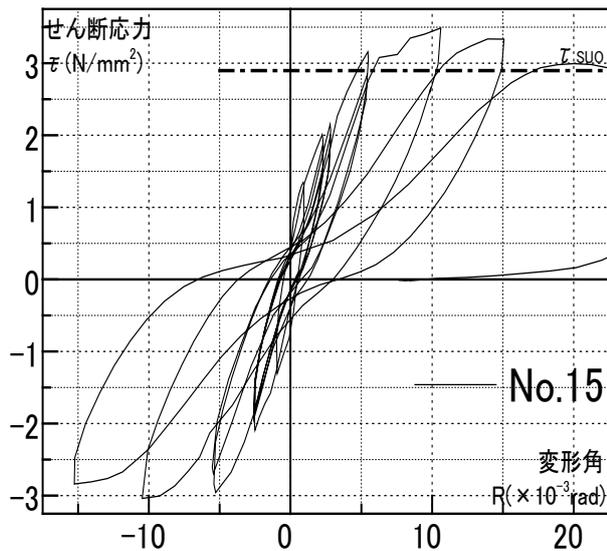
(b) 試験体 No. 12



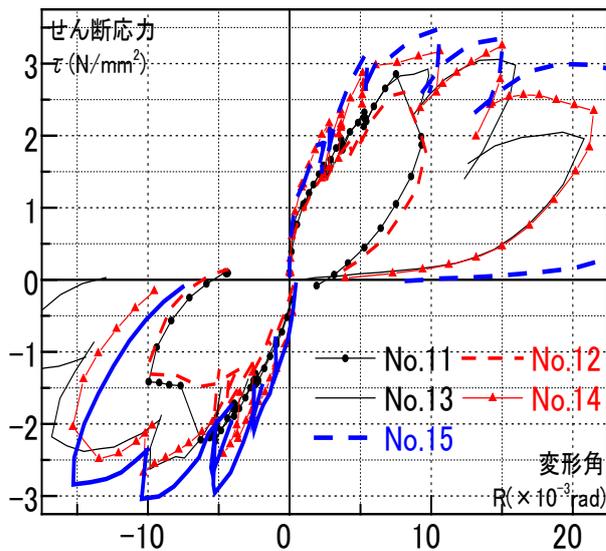
(c) 試験体 No. 13



(d) 試験体 No. 14



(e) 試験体 No. 15



(f) 全試験体包絡線比較

図-4 実験結果 変形角 R-せん断応力 τ 関係

- c) No. 11、No. 12 は開孔周囲あばら筋が降伏せず、コンクリートの圧壊が先行したと思われる。このため、最大応力生起後は脆性的な挙動を示した。
- d) 図-4(f)を見ると開孔径  $H$  / 梁せい  $D$ 、引張鉄筋比  $p_t$  のみが異なる No. 14、No. 15 はほぼ同様の挙動を示していることが分かる。また、No. 11、No. 12、No. 13 の3体は  $R=1/200$  付近まではほぼ同様の挙動を示していることが分かる。
- e) 表-5を見ると、 $\tau_{max} / \tau_{SU0}$  が 1.2 を下回る試験体が5体中2体あった。全体的に単開孔試験体の実験結果と比べると、計算値に対する実験値の余裕度は小さい。これは、開孔間が開孔部に先んじて破壊した試験体があるためと考えられる。

#### 4. まとめ

大開孔の両側に中開孔が近接した鉄筋コンクリート造基礎梁の曲げ実験を実施した。これらより、以下のことが分かった。

- a) 前報<sup>1)</sup>での試験体に対して開孔上下の配筋を減じ、また簡素にし、耐力が若干小さかったが、これは前報<sup>1)</sup>の実験では水平補強筋を連続させていたためと考えられる。
- b) コンクリート強度、開孔間のあばら筋、内法スパン比、梁せいを変化させても、実験値 / 計算値は 1.14 ~ 1.3 となり、ばらつきは小さかった。これに、開孔間の破壊による評価を加えれば、この差は更に縮まるものと考えられる。
- c) 従来よりも、開孔中心間隔を小さくしても開孔間の耐力を適切に評価すれば、設計が可能であることが分かった。

#### 【参考文献】

- 1) 五十嵐他「大開孔と中開孔が近接した RC 造基礎梁のせん断性能に関する実験的研究」(その1 実験概要) 伊藤他 同 (その2 実験結果) 錢高組技報 No. 39 2014
- 2) 猪飼他「中開孔が近接した大開孔を有する RC 基礎梁のせん断性状に及ぼす開孔間の補強筋量および内法スパン比の影響」(その1)~(その3) 2014 日本建築学会大会 構造IV pp. 463~468

#### 【謝辞】

本研究は、青木あすなろ建設、浅沼組、奥村組、熊谷組、鴻池組、東亜建設工業、飛鳥建設、長谷工コーポレーション、ピーエス三菱、三井住友建設、コーリョー建販との共同で実施しました。

研究を進めるに当たり、千葉大学大学院工学研究科和泉信之教授より多大なご指導、ご助言を頂きました。ここに、深甚なる謝意を表します。