

スターズ基礎梁工法の開発－星形補強筋を用いた梁貫通孔補強工法－

高森 直樹 有馬 義人 *1
佐々木 聡 森 貴久 *2
長濱 温子 *2

概 要

分譲マンションや賃貸住宅など様々な建物に適用可能で、鉄筋コンクリート造の基礎梁に、梁せいの2分の1までの大口径貫通孔を設けられる「スターズ基礎梁工法－星形補強筋を用いた基礎梁の貫通孔補強工法－」を開発した。一般的に、地下空間の点検用として、基礎梁に貫通孔(直径600mm程度)を設けることがあるが、貫通孔により基礎梁の強度が低下するため、補強が必要となる。本工法は、二等辺三角形補強筋もしくは台形を組み合わせた星形補強筋等によって構成され、従来工法よりも効率的な補強を実現した。

従来、梁に貫通孔を設ける場合には、梁せいを貫通孔直径の3倍以上とすることが推奨されており、特に中低層の建物では、直径600mmの貫通孔に対して、構造上必要がない場合にも梁せいを1,800mm以上としていたが、本工法を適用することで梁せいを1,200mmまで小さくすることが可能になる。施工の省力化を図り、従来工法に比べて土工事、地下の躯体工事費を5～10%低減できる見込みである。

本稿は、「スターズ基礎梁工法」を採用した縮尺試験体による曲げせん断実験の結果を報告する。

Development on Reinforcement methods of Footing Beam with large openings by using star-shaped bars

Abstract

We have developed the reinforcement method of footing beam with a hole by using star-shaped bars. By this method, the height of beam can be shortened, it will bring labor-saving and cost-reducing. In this paper, we report on the results of structural experiment.

キーワード: 鉄筋コンクリート、基礎梁、貫通孔、補強、梁せい

*1 東京支店

*2 大和ハウス工業 総合技術研究所

§1. はじめに

分譲マンションや賃貸住宅など様々な建物に適用可能で、鉄筋コンクリート造の基礎梁に、梁せいの 2 分の 1 までの大口径貫通孔を設けられる「スターズ基礎梁工法—星形補強筋を用いた基礎梁の貫通孔補強工法—」を開発した。地下空間の点検用として、基礎梁に貫通孔(直径 600mm 程度)を設けることがあるが、貫通孔により基礎梁の強度が低下するため、補強が必要となる。本工法は、二等辺三角形補強筋を組み合わせた星形補強筋等によって構成され、従来工法よりも効率的な補強を実現した(図 1)。

従来、梁に貫通孔を設ける場合には、梁せいを貫通孔直径の 3 倍以上とすることが推奨されており、特に中低層の建物では、図 2 に示す通り、直径 600mm の貫通孔に対して、構造上必要がない場合にも梁せいを 1,800mm 以上としていたが、本工法を適用することで梁せいを 1,200mm まで小さくすることが可能になる。施工の省力化を図り、従来工法に比べて土工事、地下の躯体工事費を 5~10%低減できる見込みである。

本稿は、「スターズ基礎梁工法」を採用した縮尺試験体による曲げせん断実験の結果を報告する。

§2. 実験計画

2.1 試験体概要

試験体の配筋詳細図を図 3 に示す。本補強工法は二等辺三角形のせん断補強筋を組み合わせた星形補強筋と孔際補強筋、孔部上下補強筋、孔部水平補強筋にて構成されている。表 1 に、試験体一覧を示す。試験体は実大寸法の 1/2 縮尺を想定した $b \times D = 300\text{mm} \times 600\text{mm}$ 、孔は梁せいの中央で孔径 $H = 300\text{mm}$ (梁せいの 1/2)、内法スパン $L = 1800\text{mm}$ (せん断スパン比 1.5)で統一とした。星形補強筋は、三角形せん断補強筋 2 枚で 1 組とする。試験体は、星形補強筋比(p_{wd})と星形補強筋角度、孔際補強筋比(p_{ws})、孔部上下補強筋比(p_{wo})、孔位置を実験変数とした計 7 体とした。星形補強筋角度は、基本 45 度で、No.6 の 60 度は、45 度では他の鉄筋等の干渉などで配筋上困難である場合の配筋を想定しており、台形を組み合わせた補強筋形状である。ここで、孔周囲補強筋比= $p_{wd} + p_{ws}$ と定義する。各補強筋比は RC 規準¹⁾ に従い下式より求めた。

$$p_{wd} = \{a_{wd}(\sin \theta + \cos \theta)\} / (b \cdot c) \quad (1)$$

$$p_{ws} = a_{ws} / (b \cdot c) \quad (2)$$

ここで、

a_{wd} : 星形補強筋の断面積 (mm^2)

a_{ws} : 片側 c の範囲にある孔際補強筋の断面積 (mm^2)

θ : 星形補強筋の斜辺が梁材軸となす角度

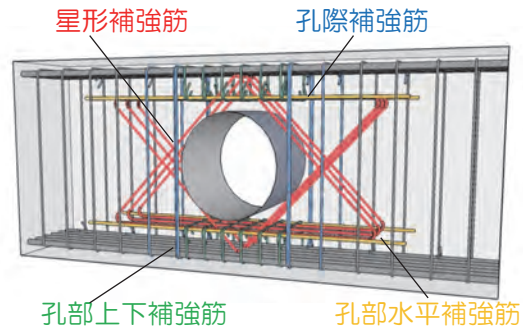


図 1 工法概要

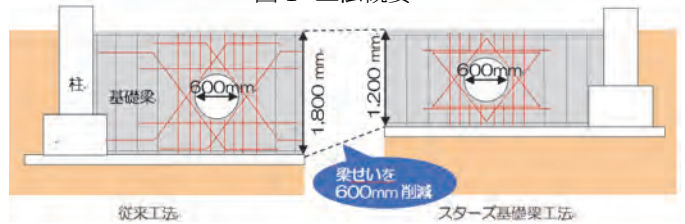


図 2 工法の比較

表 1 試験体諸元

試験体 No.	特徴	星形補強筋		孔際補強筋		孔部上下補強筋		
		配筋鋼種 SD345	P_{wd} (%)	角度	配筋鋼種 SD295A	P_{ws} (%)	配筋鋼種 SD295A	P_{wo} (%)
1	標準	3組D10	0.43	45	4本-D6	0.36	2-D6@35	0.6
2	星形少・際少	2組D10	0.28	45	2本-D6	0.18	2-D6@35	0.6
3	星形多	4組D10	0.57	45	4本-D6	0.36	2-D6@35	0.6
4	孔部上下筋少	3組D10	0.43	45	4本-D6	0.36	2-D6@70	0.3
5	孔部上下筋多	3組D10	0.43	45	4本-D6	0.36	2-D10@40	1.19
6	星形筋角度	3組D10	0.41	60	4本-D6	0.36	2-D6@35	0.6
7	孔位置※	3組D10	0.43	45	4本-D6	0.36	2-D6@35	0.6

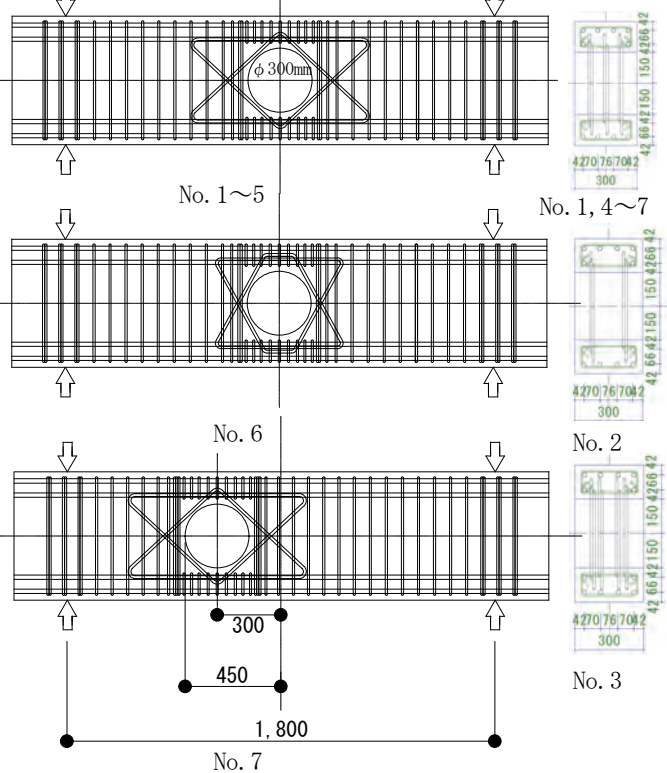


図 3 試験体図

c: 孔周囲の補強筋の有効な範囲で、孔中心と中心より 45 度方向に引いた直線が引張鉄筋重心と交わる位置との距離 (mm)

表 2 に、使用した材料の力学的特性を示す。星形補強筋の鋼種は SD345、孔際補強筋、孔部上下補強筋は SD295A を用いた。梁の主筋は孔部がせん断破壊先行となるように D19 (SD490) を用いた。コンクリートは最大径 13mm の粗骨材を用いた普通コンクリートで加力時の圧縮強度は 22.5~27.3N/mm² であった。

2.2 荷重方法

荷重装置を図 4 に示す。加力は大野式加力とし、逆対称曲げせん断力を正負交番繰り返し荷重した。加力サイクルは、部材角による変位制御で行い、部材角=1/800、1/400、1/200、1/133、1/100、1/50 とし、1/400~1/100 で 2 回繰り返しを行った。

§ 3. 実験結果

3.1 ひび割れ状況

図 5 に試験体 No.1 における最大耐力時のひび割れ状況を示す。いずれの試験体も、はじめに端部の曲げひび割れが生じ、その後、孔から 45 度方向に対角に入るせん断ひび割れ(以降、対角ひび割れ)、孔上下から斜めに伸びるせん断ひび割れ(以降、接線ひび割れ)が発生した。最終的に、接線ひび割れが主筋に沿って発生するひび割れとつながり、ひび割れ幅が拡大して、部材角 1/133 で最大耐力となった。最大耐力以降はこのひび割れを境に上下がずれるように大きく変形し孔位置でのせん断破壊となった。図 6 に試験体 No.1 の最大ひび割れ幅と残留ひび割れ幅の推移を示す。いずれの試験体も、除荷後の残留ひび割れ幅が最大になるのは対角に入るせん断ひび割れであった。

3.2 補強筋とひび割れの関係

図 7 に各変数における部材角とひび割れ幅の関係を比較して示す。孔周囲補強筋比が少ないほど、最大ひび割れ幅および残留ひび割れ幅は、大きくなった。孔部上下補強筋比の違いによるひび割れ幅への影響はあまり見られなかった。No.1 に比べて星形補強筋の 45 度より 60 度の No.6 はひび割れ幅が大きくなり、孔位置が偏芯した No.7 はひび割れ幅が大きくなった。

表 2 材料試験結果(コンクリート, 鉄筋)

No.	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)	呼び径	降伏点 (N/mm ²)	ヤング係数 (×10 ⁵ N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
1	24.3	2.42	2.51	D6	311	1.72	554
2	24.8	2.46	2.56	D10	369	1.80	525
3	26.5	2.45	2.50	D19	550	1.95	725
4	27.3	2.52	2.73				
5	26.3	2.47	2.64				
6	22.5	2.23	2.40				
7	26.0	2.47	2.87				

試験は JIS A 1108,
JIS Z 2241 による。



図 4 荷重装置

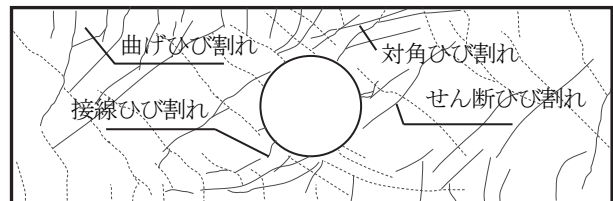


図 5 ひび割れ状況 (No.1)

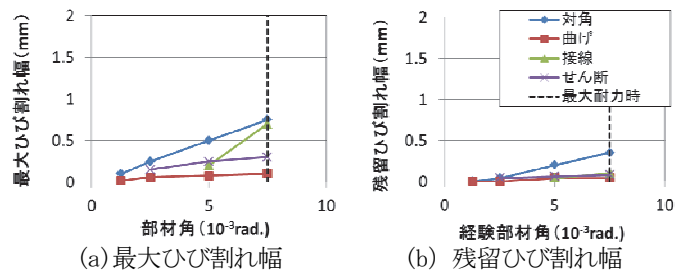


図 6 ひび割れ幅の推移 (試験体 No. 1)

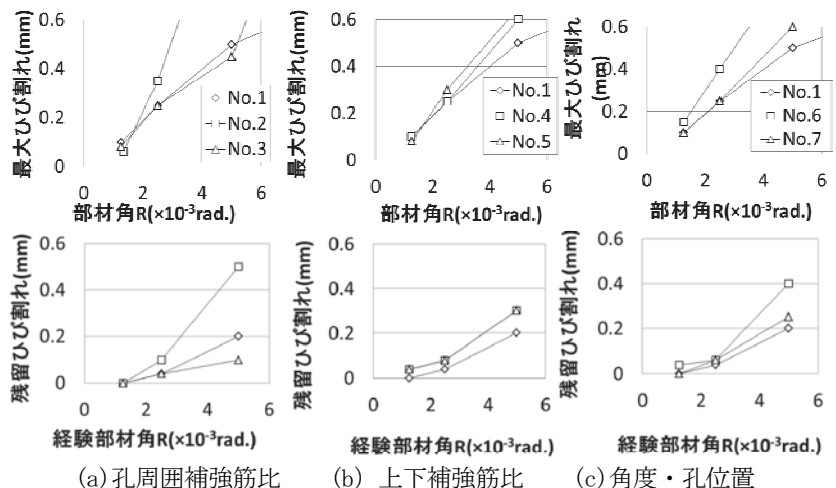


図 7 部材角とひび割れ幅の推移

3.3 鉄筋ひずみ状況

図 8 に試験体 No.1 の各補強筋ひずみ分布の推移を示す。対角ひび割れの伸展とともにひび割れと交差する位置で星形補強筋のひずみが大きくなり、部材角 1/200 で降伏し、その後、部材角 1/133 で孔際補強筋および名暗部上下補強筋が降伏した。

3.4 補強筋量と耐力の関係

図 9 に荷重-変形関係の骨格曲線と最大耐力の比較を示す。表 3 に最大耐力値と最大耐力時の部材角の一覧を示す。図 9(a)で星形補強筋比の違いによる比較を行った。星形補強筋比 p_{wd} が多くなるほど、最大耐力が大きくなる傾向にあった。No.1($p_{wd}=0.43$)と No.3($p_{wd}=0.57$)を比較すると、No. 3 が No.1 の最大耐力の 1.12 倍となった。最大耐力後の耐力低下は星形補強筋比が異なってもほとんど変わらなかった。図 9(b)で孔部上下補強筋比の違いによる比較を行った。孔部上下補強筋比が多くなるほど、最大耐力は大きくなる傾向にあった。また、孔部上下補強筋比が多くなるほど最大耐力以降の耐力低下が小さくなる傾向が顕著であった。図 9(c)で星形補強筋の角度による比較を行った。星形補強筋角度 θ が 60 度の No.6 は、45 度の No.1 よりも小さい部材角で最大耐力に達した。No.6 の最大耐力は、No.1 より小さくなり、0.84 倍であった。図 9(d)で孔位置による偏芯の影響を考察した。孔位置が偏芯していても、偏芯による最大耐力への影響はほとんど見られなかった。

3.5 最大耐力と終局強度式の比較

本実験における試験体 No.1 の荷重変形関係を図 10 に、各試験体の実験値と計算値との比較を表 3 と図 11 に示す。なお、計算式は式(1)により算出した。式中の記号は RC 規準¹⁾による。RC 規準では、寸法効果による係数 k_u は梁せい 400mm 以上一定値となっているが、基礎梁の場合梁せいが大きくなることから式(1)に、寺井ら²⁾によって提案された大断面の寸法効果を考慮した式(2)の k'_u を k_u に替わり採用する。なお、本試験体の場合は $k'_u = 0.64$ となる。

$$Q_{uo2} = \left\{ \frac{0.092k'_u k_p (\sigma_B + 18)}{M/(Q \cdot d) + 0.12} \left(1 - 1.61 \frac{H}{D} \right) + 0.85 \sqrt{p_{wd} \cdot \sigma_{wd} + p_{ws} \cdot \sigma_{ws}} \right\} b \cdot j \quad (1)$$

$$k'_u = (160/d)^{0.37} \quad (2)$$

ここで、 σ_{wd} : 星形補強筋の降伏点(N/mm²)、 σ_{ws} : 孔際補強筋の降伏点(N/mm²)、 d : 梁せい(mm)

表 3 に示す通り、最大耐力の実験値は計算値を上回り、実験値/計算値は、1.10~1.57(平均 1.35、標準偏差 0.16)となった。

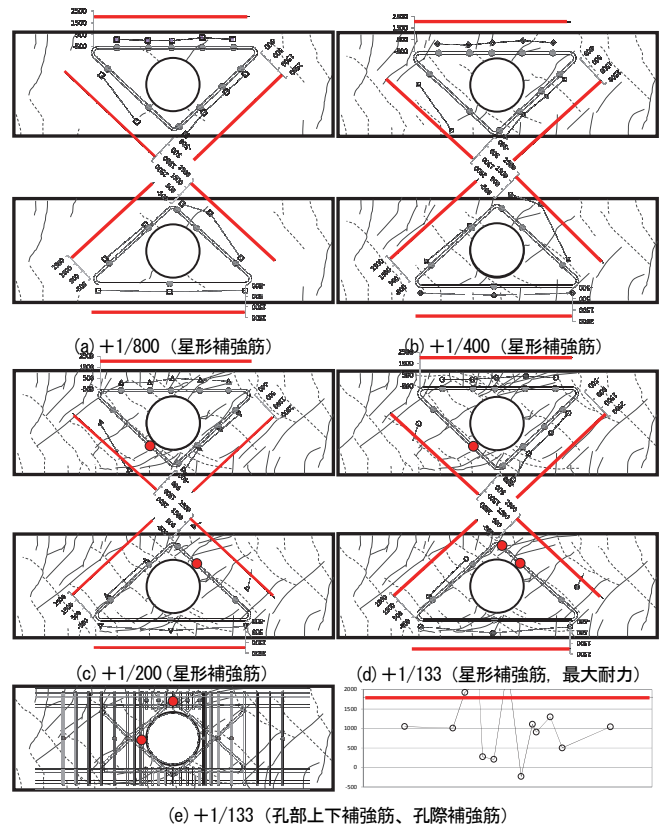


図 8 各補強筋ひずみ分布 (試験体 No. 1) - 降伏点 ● 降伏位置

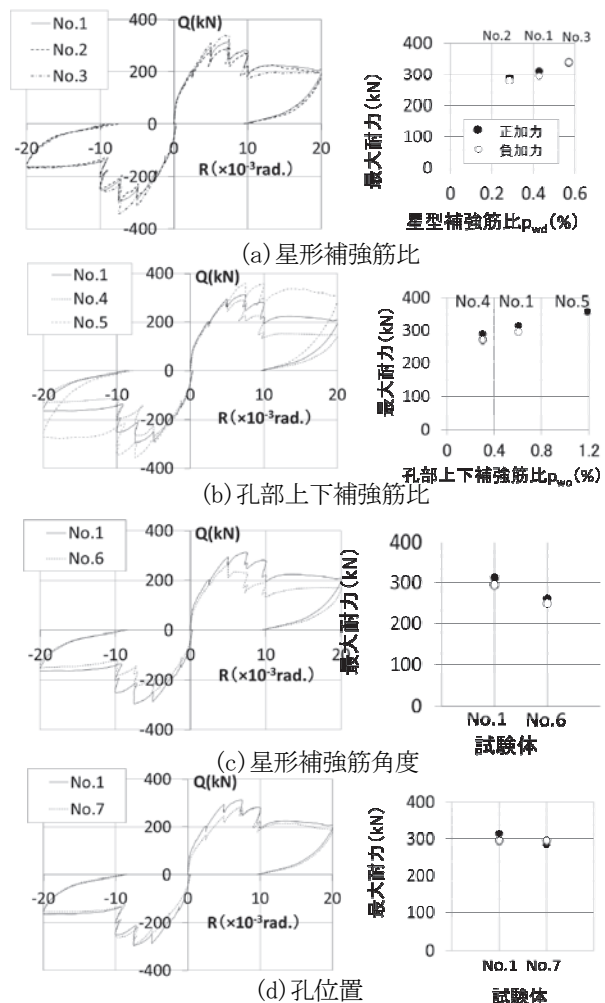


図 9 変数による骨格曲線および最大耐力の比較

§4. 終局せん断強度式の妥当性の検討

開孔径/梁せい(H/D)=1/3~1/2 の大開孔の有孔梁について、既往の実験結果^{3)~8)}と本実験結果を用いて、式(1)の妥当性を検討する。表4に検討した試験体の範囲を示す。

既往の試験体は本試験体と同様に、斜め補強筋と孔際補強筋による補強を行って、孔周囲のせん断破壊であった試験体25体を対象とした。図12に実験変数(開孔比(H/D)、コンクリート強度(σ_B)、せん断スパン比(M/Qd)、星形補強筋比(斜め補強筋比)(p_{wd})、孔際補強筋比(p_{ws})、上下補強筋比(p_{wo})、開孔周囲補強筋比)における最大耐力実験値と式(1)による計算値の比較を示す。本実験と既往実験のいずれの試験体も、実験変数に関わらず実験値は計算値を上回った。実験値/計算値は、本実験の場合1.10~1.57(平均1.35、標準偏差0.16)、既往実験の場合1.24~1.82(平均1.55、標準偏差0.15)であり、本実験結果は既往の実験結果とほぼ同等の余裕度を有していた。開孔径/梁せい(H/D)=1/3~1/2の有孔梁の試験体の最大耐力は、寸法効果を考慮した終局せん断強度式(式(1))を用いて評価できることを確認した。

表3 最大耐力の実験値と計算値

試験体	加力	最大耐力部材角 (10^{-3} rad)	最大耐力実験値 (kN)	計算値	
				計算値 kN	実験値 計算値
No.1	正	7.50	313	228	1.37
	負	7.50	295		
No.2	正	7.50	289	184	1.57
	負	7.50	278		
No.3	正	6.78	339	248	1.37
	負	7.51	342		
No.4	正	6.73	289	230	1.26
	負	5.00	263		
No.5	正	7.50	358	229	1.56
	負	7.50	356		
No.6	正	5.00	261	225	1.16
	負	5.00	249		
No.7	正	7.50	310	229	1.35
	負	7.50	306		
				平均	1.35
				標準偏差	0.16

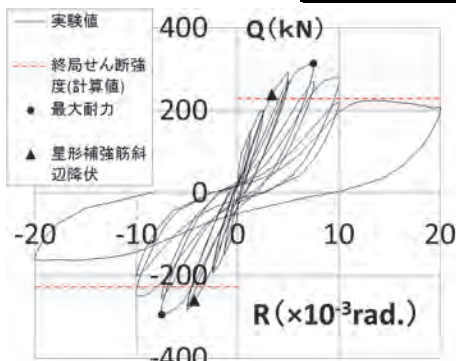


図10 荷重変形関係 (試験体 No. 1)

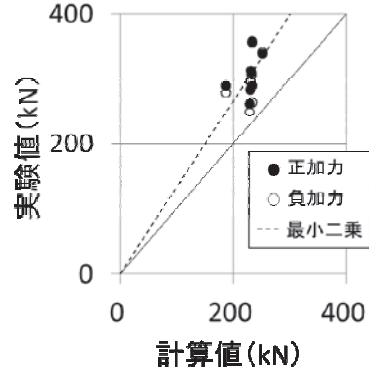


図11 実験値と計算値の比較

表4 検討した試験体の範囲

実験変数	本実験(7体)	既往実験(25体)
梁幅b×梁せいD (mm×mm)	300×600	180~400×500~920
開孔比=孔径H/梁せいD	1/2	1/2.5~1/2
コンクリート強度 σ_B (N/mm ²)	24~27	21~41
せん断スパン比 (M/Qd)	1.5	0.69~1.71
寸法効果係数 $k'u$	0.64	0.53~0.67
$p_{wd} \cdot \sigma_{wd}$	1.05, 2.10	0~4.58
$p_{ws} \cdot \sigma_{ws}$	0.56, 1.11	0~2.42

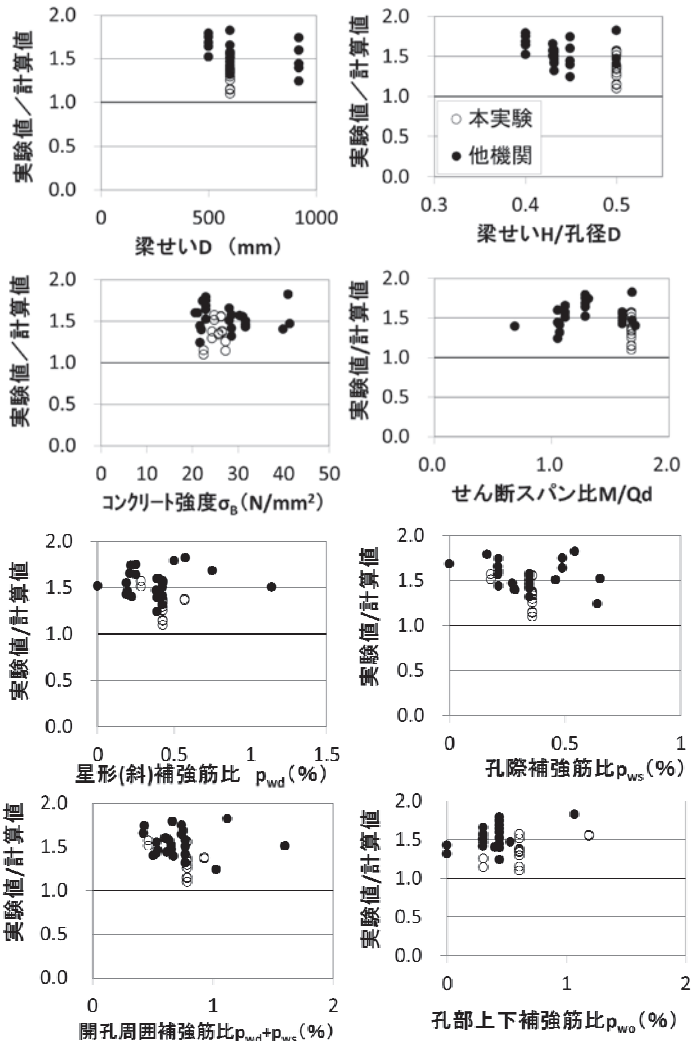


図12 各変数と実験値/計算値の比較

§5. おわりに

梁せいの 1/2 の開孔を設けた梁試験体の曲げせん断実験を行い、以下の知見を得た。

- 1) ひび割れ幅が顕著になる対角ひび割れに対して、星形補強筋の斜辺及び孔際補強筋が有効に働く。
- 2) ひび割れ幅の大きさには、孔周囲補強筋比と星形補強筋角度が影響する。
- 3) 最大耐力に対して、孔周囲補強筋比、孔部上下補強筋比、星形補強筋角度が影響する。
- 4) 終局せん断強度に寸法効果を考慮した係数を代入した式を用いた結果、実験の最大耐力は計算値を上回り、実験値/計算値は 1.10～1.57(平均 1.35)となった。
- 5) 寸法効果を考慮した係数を代入した終局せん断強度式により既往の実験を評価したところ、実験値/計算値は 1.24～1.82(平均 1.55、標準偏差 0.15)となった。
- 6) 試験体の実験変数に関わらず、実験値は計算値を上回ることを確認し、寸法効果を考慮した終局せん断強度式において本試験体を評価できることを確認した。

本工法は一般財団法人日本建築総合試験所の建築技術性能証明(GBRC 性能証明第 14-22 号)を取得しています。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2010
- 2) 寺井雅和、福原実苗、南宏一：鉄筋コンクリート部材のせん断強度にみられる寸法効果に関する一考察、日本建築学会北海道支部研究報告集 No.83、pp73-76、2010 年 7 月
- 3) 宮内靖昌、高津比呂人、毛井宗博、三村麻里、斜め補強筋を用いて大口径貫通孔を補強した基礎梁の力学性状と構造設計法、GBRC、vol.31 No.4、pp.16-23、2006 年 10 月
- 4) 三村麻里、麻生直木、毛井宗博、宮内靖昌、高津比呂人、斜め補強筋を用いて大開口を補強した RC 有孔梁の力学性状に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.207-210、2007 年
- 5) 石岡拓、清水隆、和泉信之、大口径貫通孔を有する梁部材の開口補強工法の開発、コンクリート工学年次論文集、Vol.34、No.2、pp.205-210、2012 年

- 6) 平田延明、中岡章郎、大貫通孔を有する鉄筋コンクリート造梁のせん断性状に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.241-242、2012 年
- 7) 筏井文隆、新井勇作、小林克巳、V 字斜め補強筋と溶接組立せん断補強筋を用いた大開孔梁のせん断実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.245-246、2012 年
- 8) 小林克巳、RC 造大開孔梁のせん断終局耐力に対する開孔周囲補強筋の役割について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.237-238、2012 年



高森 直樹

ひとこと

本工法は多くの人たちの協力により開発できました。物件の適用を増やし、施工の省力化に貢献したいと思います。