

大開孔を有する基礎梁補強工法の開発

－開孔周囲を補強した基礎梁のせん断性状－

Method of Reinforcing Footing Beam with Large Opening

- Shear Behavior of RC Footing Beams Reinforced by Bars around the Opening -

岸本 剛* 細矢 博* 武田彰文** 山口敏和*** 小妻靖知***

要 旨

梁に設けられる貫通孔の直径は梁せいの 1/3 以下とすることが推奨されていることから、基礎梁に人通孔を設ける場合、構造計算の結果に関わらず人通孔径から梁せいが決定される場合があり、中低層の建物ではコストアップの一因となっている。今回、基礎梁せいの合理化を図るため、梁せいの 1/3 を超え、1/2 以下の径の開孔を有する基礎梁が必要な構造性能を発揮する補強方法を提案し、構造実験によりせん断性状を確認した。また、開孔周囲の補強筋がひび割れ幅やせん断終局強度に及ぼす影響、および構造性能の評価方法について検証した。

キーワード：大開孔、基礎梁、せん断終局強度、ひび割れ幅

1. まえがき

RC 造梁に貫通孔（以下、開孔と称す）を設けると、開孔周囲に応力が集中することから、ひび割れが発生しやすくなる。さらに、せん断終局強度など構造性能を著しく低下させることから、通常、開孔の直径（以下、開孔径と称す）は梁せいの 1/3 以下とすることが推奨されている。そのため、基礎梁に人通孔として直径 600mm 程度の開孔を設ける場合、構造計算の結果に関わらず、人通孔の 3 倍の 1800mm 以上の梁せいが必要となる。

そこで、基礎梁せいの合理化を図るため、開孔径が梁せいの 1/3 を超え、1/2 の範囲まで十分な構造性能を発揮する補強方法を提案し、構造実験によりせん断性状を確認した。そして、開孔周囲の補強筋がひび割れ幅やせん断終局強度に及ぼす影響、および構造性能の評価方法について検証した。

2. 工法概要

開孔補強方法を図-1 に示す。開孔周囲の補強として、開孔際あばら筋、平行四辺形斜め補強筋、開孔部あばら筋、軸方向補強筋の 4 種類の補強筋を利用する。開孔際あばら筋は、開孔の左右に配置されたあばら筋のうち、開孔中心を基点として 45°に引いた直線が、引張鉄筋と交わる位置から開孔側に配筋されたあばら筋である。平

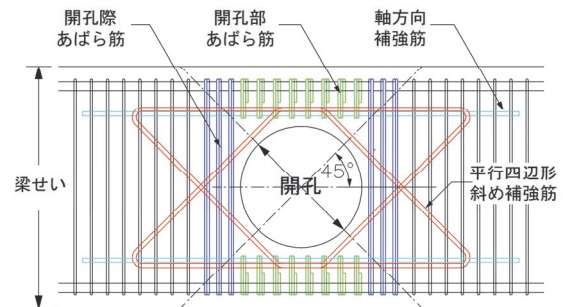


図-1 開孔補強方法

行四辺形斜め補強筋は、形状が平行四辺形で溶接閉鎖型であり、1 対の対辺を梁材軸に平行とし、斜めの対辺を梁材軸に 45°の角度で配置し、材軸直交方向に対称となる 2 本を 1 組として使用する。また、開孔部あばら筋と軸方向補強筋は開孔上下位置の補強であり、開孔上下を梁と見立て（以下、開孔上下位置を弦材と称す）、主筋として軸方向補強筋を、あばら筋として開孔部あばら筋を配置する。

3. 実験概要

3.1 試験体概要

表-1 に試験体一覧を、表-2 に材料試験結果を、図-2 に試験体形状を示す。

*技術研究所建築研究グループ **西日本支社建築設計部 ***東日本支社建築設計部

試験体は 1/2 縮小の 9 体で、パラメーターは、開孔周囲の補強筋量、コンクリート強度、隣接する小開孔の有無、開孔径比とした。また、すべての試験体で開孔周囲のせん断破壊が先行するように計画した。

No.2 は基準試験体で、スパン方向の中央位置に、実大で 600mm を想定した直径 (H) 300mm の大開孔を設けた。梁せい (D) 600mm に対する開孔径比 (以下、H/D) は 1/2 となる。No.3 は No.2 に対して平行四辺形斜め補強筋を、No.4 は開孔部あばら筋を、No.5 は開孔際あばら筋と開孔部補強筋を増した。No.8 は開孔際あばら筋と開孔部補強筋、および平行四辺形斜め補強筋を増した。本工法では、弦材のせん断破壊を許容しない。しかし、開孔部あばら筋比が弦材のせん断破壊に影響をおよぼすと考えられることから、破壊形式と開孔部あばら筋比の関係を確認する目的で、No.1 は No.2 に対し開孔部あばら筋比を半分とした。

また、No.6 は、No.2 に対し、隣接する小開孔の影響を確認するため、大開孔の両側に直径 100mm の小開孔を設けた試験体で、開孔間隔は、大開孔と小開孔の両者の平均直径の 3 倍とした。大開孔の補強は、No.2 と同一で、小開孔の補強には、既製の開孔補強筋を用いた。No.7 は、コンクリート強度が最大荷重に与える影響を確認するため $F_c=21\text{N/mm}^2$ とした。No.9 は、開孔径が同一の場合において開孔径比が損傷 (ひび割れ) 状況や最大荷重に与える影響を確認するため、開孔径比を 1/2.4 (梁

表-1 試験体一覧

| 試験体 | F_c N/mm ² | 開孔径比 H/D | 平行四辺形斜め補強筋 | | 開孔際あばら筋 | | 開孔部あばら筋 | | 軸方向補強筋 | | | | | | | | |
|------|----------------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|----------------|----------------------------|------------------|------------------|------|----------------|
| | | | 配筋 | P_{wd} (%) | 配筋 | P_{ws} (%) | 配筋 | P_{wc} (%) | | | | | | | | | |
| No.1 | 30 | 1/2 | 2-D10×3組 (SD345) | 0.34 | 4-D6×3組 (SD295A) | 0.44 | 2-D6@40 (SD295A) | 0.46 | 2-D13 (SD295A) | | | | | | | | |
| No.2 | | | 2-D13×4組 (SD345) | 0.82 | | | 4-D6@40 (SD295A) | 0.91 | | | | | | | | | |
| No.3 | | | 2-D10×3組 (SD345) | 0.34 | | | 4-D10×3組 (SD295A) | 0.97 | | 4-D6@30 (SD295A) | 1.22 | 4-D13 (SD295A) | | | | | |
| No.4 | | | | | 4-D6×3組 (SD295A) | 0.44 | | | 4-D6@40 (SD295A) | 0.91 | | | | | | | |
| No.5 | | | | | | | | | | | 4-D6×3組 (SD295A) | | 0.97 | 4-D6@30 (SD295A) | 1.22 | | |
| No.6 | | | 21 | 30 | 2-D13×4組 (SD345) | 0.82 | 4-D10×3組 (SD295A) | 0.97 | 4-D6@30 (SD295A) | 1.22 | | | | | | | |
| No.7 | | | | | | | | | | | 2-D10×3組 (SD345) | 0.28 | 4-D6×3組 + 2-D6×1組 (SD295A) | 0.41 | 3-D6@45 (SD295A) | 0.61 | 3-D13 (SD295A) |
| No.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| No.9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |

【一般部配筋】梁主筋: 5-D22(SD490, $p_t=1.01\%$)、一般部あばら筋 (No.8 以外): 2-D6@40(SD295A, $p_w=0.46\%$)、(No.8): 4-D6@40(SD295A, $p_w=0.91\%$)
 【部材寸法】No.1~No.8: $L=1800\text{mm}$, $B_g \times D_g=350 \times 600\text{mm}$, $H=300\text{mm}$, $c=250\text{mm}$, No.9: $L=1800\text{mm}$, $B_g \times D_g=350 \times 720\text{mm}$, $H=300\text{mm}$, $c=310\text{mm}$
 【記号】 p_t : 引張鉄筋比, $p_t = \Sigma a_t / (B_g \cdot d)$, Σa_t : 梁の引張鉄筋全断面積, d : 有効せい, p_w : 一般部あばら筋比, $p_w = a_w / (B_g \cdot s)$, a_w : 一組の一般部あばら筋断面積, s : 一般部あばら筋ピッチ, p_{wd} : 平行四辺形斜め補強筋比, $p_{wd} = a_{wd} (\sin \theta + \cos \theta) / (B_g \cdot c)$, a_{wd} : 孔の片側 c の範囲にある平行四辺形斜め補強筋断面積, p_{ws} : 開孔際あばら筋比, $p_{ws} = (n \cdot a_{ws}) / (B_g \cdot c)$, a_{ws} : 一組の開孔際あばら筋断面積, n : 孔の片側 c の範囲内にある開孔際あばら筋組数, p_{wc} : 開孔部あばら筋比, $p_{wc} = a_{wc} / (B_g \cdot s_c)$, a_{wc} : 一組の開孔部あばら筋断面積, s_c : 開孔部あばら筋ピッチ

表-2 材料試験結果

| 呼び名 | 鋼種 | 試験体 | (a)鋼材 | | (b)コンクリート | | |
|-----|------|---------|---------------------------------|----------------------------------|-----------|---------------------------------|-------------------------------|
| | | | σ_y N/mm ² | ϵ_y $\times 10^{-3}$ | 試験体 | σ_B N/mm ² | E_c × kN/mm ² |
| D6 | SD | No.1~3 | 445 | 2.17 | No.1 | 31.7 | 29.2 |
| | 295A | No.4~9 | 376 | 1.83 | | | |
| D10 | SD | No.5, 8 | 351 | 1.71 | No.2 | 33.0 | 29.2 |
| | 295A | No.6 | 362 | 1.77 | No.3 | 32.6 | 29.8 |
| | SD | No.1, 2 | 363 | 1.77 | No.4 | 32.1 | 27.3 |
| D13 | 345 | No.4~9 | 376 | 1.83 | No.5 | 33.3 | 27.2 |
| | SD | No.1~3 | 335 | 1.63 | No.6 | 33.6 | 27.6 |
| | 295A | No.4~9 | 362 | 1.77 | No.7 | 21.6 | 25.2 |
| | SD | No.3 | 358 | 1.75 | No.8 | 34.3 | 27.3 |
| D22 | 345 | No.8 | 362 | 1.77 | No.9 | 32.2 | 26.7 |
| | SD | No.1~3 | 531 | 2.59 | | | |
| | 490 | No.4~9 | 548 | 2.67 | | | |

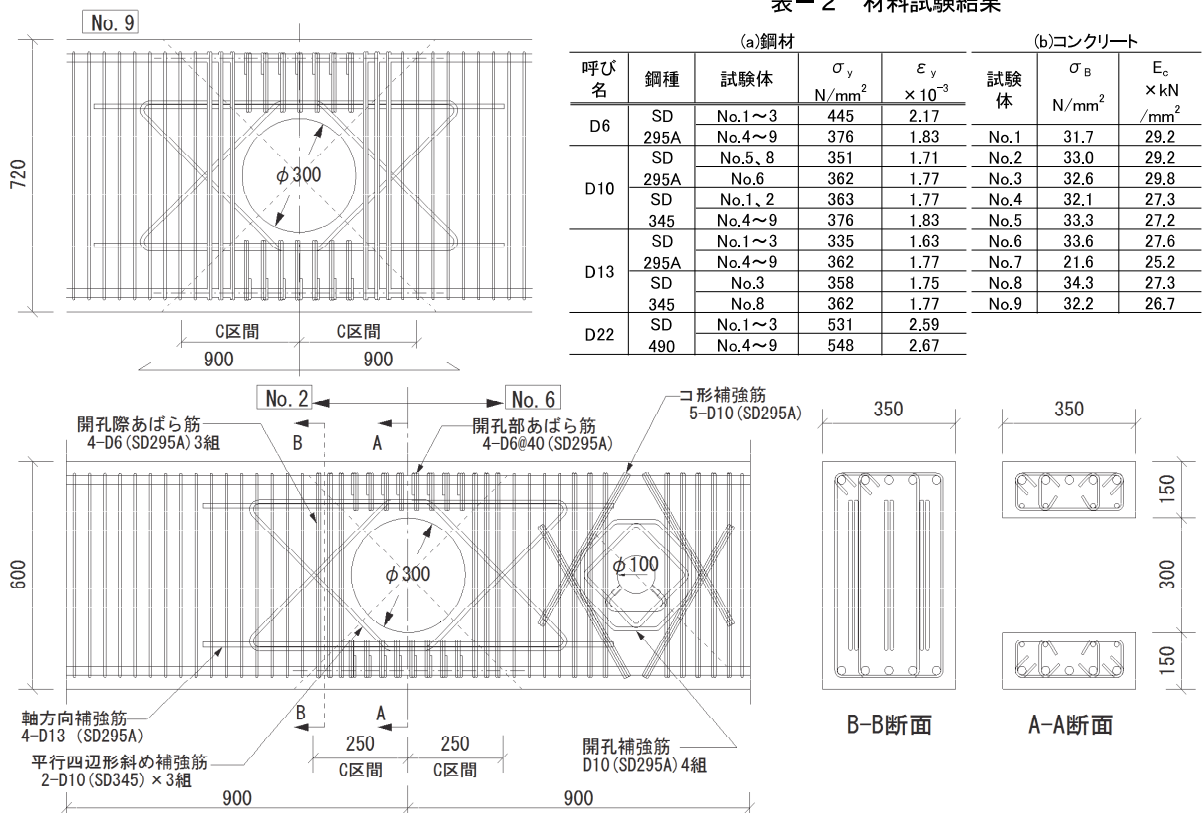


図-2 試験体形状

せい720mm)とした試験体である。

3.2 加力方法

図-3に示すように、実験は、試験体の上下支持部を建研式加力装置に固定し、押し引き型油圧ジャッキを用いて試験体に逆対称変形が生じるように水平力を加力して行った。荷重スケジュールは、RC規準による開孔周囲の長期許容せん断力(Q_{A0})に達した荷重で1サイクル、同短期許容せん断力(Q_{A0s})、およびR=5、7.5、10(×10⁻³rad)で2サイクルの正負繰り返し荷重の後、正加力方向にR=30×10⁻³radまでの一方向荷重とした。

4. 実験結果および検討

4.1 梁せん断力-部材角関係および破壊性状

写真-1にNo.1、2、9のR=10×10⁻³rad時の破壊状況を、図-4に各試験体の荷重と部材角の関係を示す。

基準試験体であるNo.2では、R=0.2×10⁻³rad時に材端

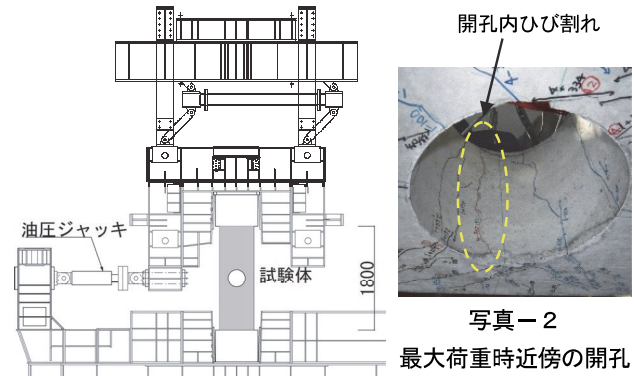
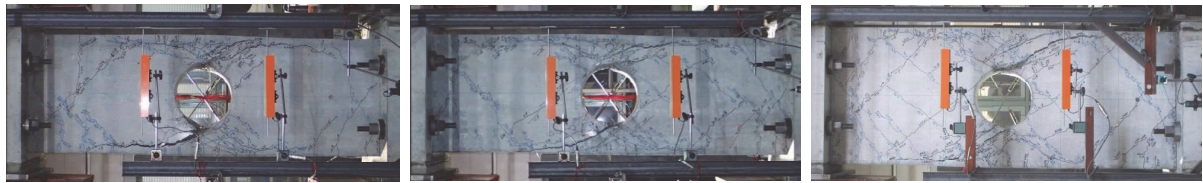


図-3 加力装置

写真-2

最大荷重時近傍の開孔内の破壊状況(No.2)

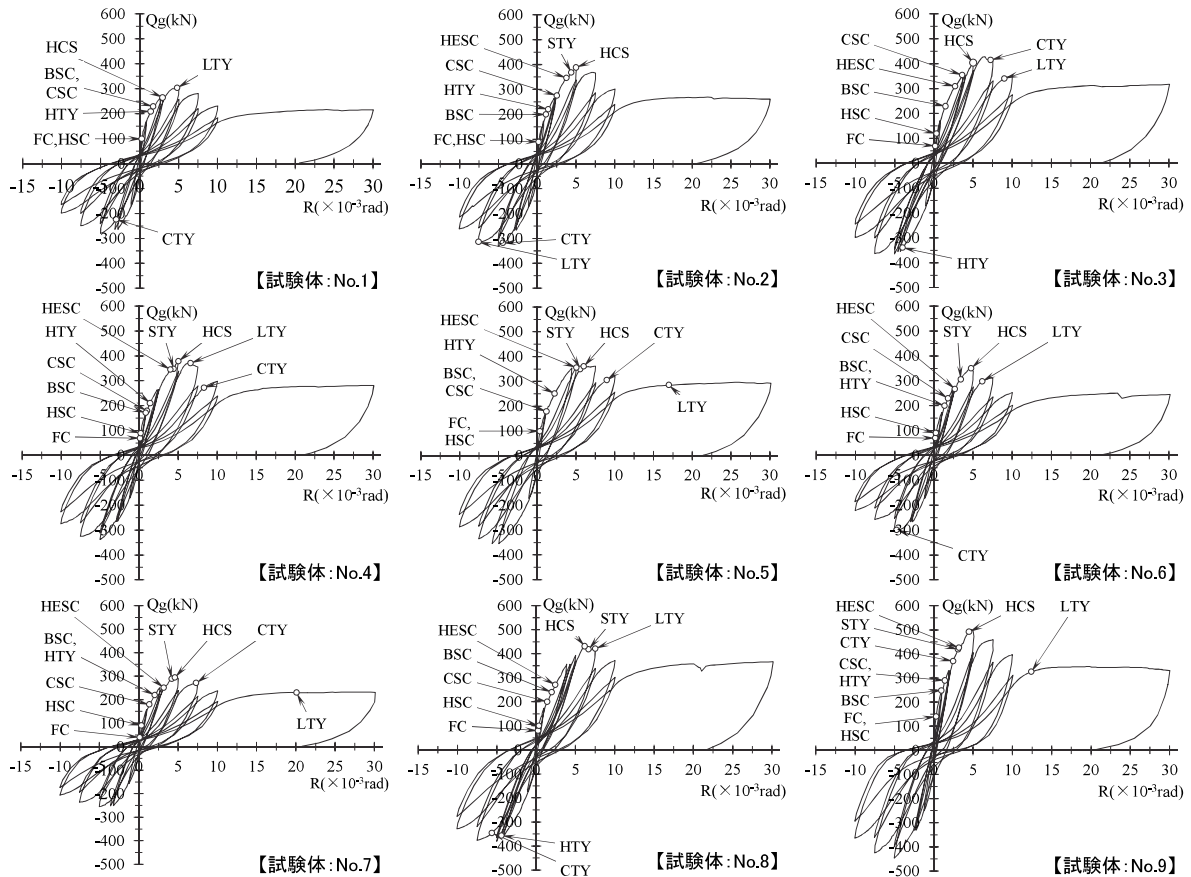


[No.1 H/D=1/2 p_{wc}=0.46%]

[No.2 H/D=1/2 p_{wc}=0.91%]

[No.9 H/D=1/2.4 p_{wc}=0.61%]

写真-1 破壊状況 (R=10×10⁻³rad時)



発生現象 FC：曲げひび割れ、HSC：開孔部のせん断ひび割れ、BSC：一般部のせん断ひび割れ、CSC：弦材のせん断ひび割れ、HESC：開孔際のせん断ひび割れ、HCS：弦材のせん断ひび割れにつながる開孔内のひび割れの梁せい方向のずれおよび開き、LTY：軸方向補強筋の引張降伏、CTY：開孔部あばら筋の引張降伏、STY：開孔部あばら筋の引張降伏、HTY：平行四辺形斜め補強筋の引張降伏

図-4 荷重と部材角の関係

部に曲げひび割れ、開孔部から斜め 45°方向に伸びるせん断ひび割れが発生し、 $R=1.5 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に平行四辺形斜め補強筋が引張降伏した後、 $R=2.6 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に弦材のせん断ひび割れが発生し、 $R=4.4 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に開孔際あばら筋が引張降伏した。その後、弦材のせん断ひび割れにつながる開孔内のひび割れが、写真-2に示すように梁せい方向にずれて開いた前後で、開孔部のせん断ひび割れ幅、および弦材のせん断ひび割れ幅の拡大が顕著となり、 $R=5.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に最大荷重 (Q_{\max}) に達した。No.2 以外の試験体も同様に、開孔部から斜め 45°方向に伸びるせん断ひび割れや弦材のせん断ひび割れが進展した後、 Q_{\max} に達した。

各試験体とも最大荷重以降、開孔上下の弦材でせん断ひび割れが梁主筋に沿って進展するとともに、ひび割れ幅も拡大し、梁主筋および軸方向補強筋のかぶりコンクリートが広範囲で剥落した。

4.2 開孔周囲の補強筋の挙動

a. 開孔際あばら筋、一般部あばら筋のひずみ分布

図-5のひずみの計測位置での最大荷重時の開孔際あばら筋、および一般部あばら筋のひずみ分布を図-6、図-7に示す。図-6は、開孔際あばら筋比が同量の比較で、No.2 では開孔際あばら筋が降伏ひずみに達したものの、開孔部あばら筋が少ない No.1、およびコンクリート強度が低い No.7 では弾性範囲に留まった。

No.1 には開孔部あばら筋比を小さくするため中子筋を配筋していないことから、弦材ではトラス機構を構成する圧縮応力を負担できる面積が小さくなる²⁾。そのため、コンクリートの圧壊で弦材がせん断破壊し、開孔際あばら筋に生じるひずみが小さかったと考えられる。また、コンクリート強度は開孔際あばら筋の補強効果に影響を与えることが確認された。

図-7は、開孔際あばら筋比のみ異なる場合で、No.4 で開孔際あばら筋は降伏ひずみに達したのに対し、No.5 では、降伏ひずみの 80%程度であり弾性範囲に留まった。

b. 平行四辺形斜め補強筋のひずみの推移

図-8に、平行四辺形斜め補強筋のひずみの推移を示す。平行四辺形斜め補強筋比のみ異なる No.2 と No.3 を比較すると、No.2 の平行四辺形斜め補強筋のひずみは、H1、H2 とともに最大荷重到達前の $R=1.5 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に降伏ひずみに達した。一方、No.3 では、H2 では最大荷重到達時には弾性範囲に留まっていたが、H1 では $R=4.9 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に降伏ひずみに達した。

4.3 最終破壊状況

いずれの試験体も最終変形時に開孔上下に位置する弦材において、かぶりコンクリートが剥落する損傷がみられたが、No.1 では最大荷重時に、この損傷が他の試験体より顕著であったこと、また、最大荷重時に開孔際あばら筋が降伏ひずみに達していないことなどから、弦材のせん断破壊により最大荷重に達したと判断した。一方、

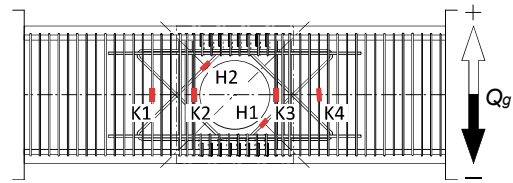


図-5 補強筋ひずみの計測位置

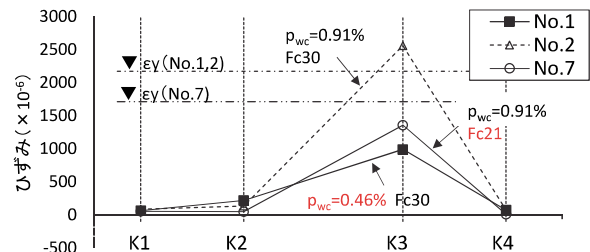


図-6 開孔際あばら筋、一般部あばら筋のひずみ分布 (開孔際あばら筋比が同量の場合)

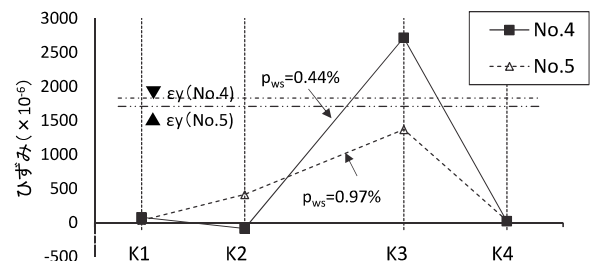


図-7 開孔際あばら筋、一般部あばら筋のひずみ分布 (開孔際あばら筋比のみ異なる場合)

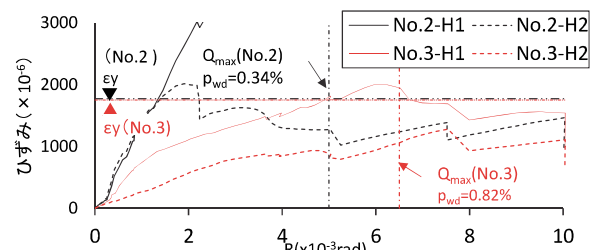


図-8 平行四辺形斜め補強筋のひずみの推移

他の試験体では、最大荷重到達前後で開孔際あばら筋のひずみが概ね降伏ひずみに達したことから、開孔周囲のせん断破壊により最大荷重に達したと判断した。

5. ひび割れ幅に関する検討

5.1 開孔周囲のせん断ひび割れ発生荷重

開孔周囲のせん断ひび割れ発生荷重 (Q_{oc}) の計算値と実験値の比較を、表-3に示す。 Q_{oc} は、無開孔のせん断ひび割れ強度¹⁾から、開孔の影響を考慮³⁾した式(1)により算出した。いずれの試験体も実験値は計算値を上回っており、式(1)により、開孔周囲のせん断ひび割れ発生荷重を安全側に評価した。

表-3 せん断ひび割れ発生荷重、長期、および短期許容せん断荷重時のひび割れ幅

| 試験体名 | 開孔径比 H/D | せん断ひび割れ発生荷重 | | | 長期許容せん断力時ひび割れ幅 | | | 短期許容せん断力時ひび割れ幅 | | |
|------|----------|--------------------------|--------------------------|-----------|--------------------------|---|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| | | 実験値 Q _{oc} (kN) | 計算値 Q _{oc} (kN) | 実験値 / 計算値 | 計算値 Q _{AO} (kN) | Q _{AO} 時 部材角 R _{AO} (×10 ⁻³ rad) | Q _{AO} 時最大 ひび割れ幅 (mm) | 計算値 Q _{AOS} (kN) | Q _{AOS} 時 ひび割れ幅 (mm) | Q _{AO} 時 残留ひび割れ幅 (mm) |
| No.1 | 1/2 | 99 | 44 | 2.24 | 169 | 0.9 | 0.10 | 263 | 0.60 | 0.60 |
| No.2 | | 89 | 45 | 1.98 | 171 | 0.8 | 0.10 | 264 | 0.40 | 0.35 |
| No.3 | | 119 | 45 | 2.66 | 170 | 0.8 | 0.08 | 353 | 0.55 | 0.45 |
| No.4 | | 89 | 44 | 2.00 | 169 | 0.9 | 0.10 | 263 | 0.45 | 0.40 |
| No.5 | | 99 | 45 | 2.20 | 171 | 1.1 | 0.08 | 354 | 0.50 | 0.40 |
| No.6 | | 89 | 45 | 1.97 | 171 | 1.0 | 0.15 | 265 | 0.45 | 0.40 |
| No.7 | | 89 | 39 | 2.30 | 156 | 1.0 | 0.10 | 250 | 0.50 | 0.45 |
| No.8 | | 99 | 46 | 2.17 | 172 | 1.0 | 0.10 | 355 | 0.40 | 0.40 |
| No.9 | 1/2.4 | 140 | 106 | 1.32 | 246 | 1.0 | 0.10 | 329 | 0.30 | 0.25 |

$$Q_{oc} = \frac{0.085 \cdot k_c \cdot (50 + F_c)}{\frac{M}{Q \cdot d} + 1.7} \cdot \left(1 - 1.65 \cdot \frac{H}{D}\right) \cdot b \cdot j \quad (1)$$

ただし、b、D、d、j：梁幅、梁せい、有効せい、応力中心距離(mm)、H：開孔の直径(mm)、k_c：補正係数 (d≥400の場合k_c=0.72)、M/(Q・d)：梁のせん断スパン比、F_c：コンクリート強度(N/mm²)

5.2 開孔周囲の長期許容せん断力とひび割れ幅

表-3に、開孔周囲の使用性確保のための長期許容せん断力(Q_{AO})の計算値とその荷重時の最大ひび割れ幅を示す。Q_{AO}は、RC規準¹⁾による式(2)から求めた。

$$Q_{AO} = b \cdot j \cdot \left\{ \alpha \cdot f_s \cdot \left(1 - \frac{H}{D}\right) + 0.5 \cdot f_t \cdot (p_s - 0.002) \right\} \quad (2)$$

記号はRC規準¹⁾を参照

開孔周囲のひび割れ幅は0.08~0.15mmであり、使用上の支障が生じないとされるひび割れ幅の制限値¹⁾(0.3~0.4mm程度)に、スケール効果(試験体縮尺1/2)を考慮した0.15~0.2mmを下回っていた。

5.3 開孔周囲の短期許容せん断力とひび割れ幅

さらに、表-3に開孔周囲の損傷制御を目的とする短期許容せん断力(Q_{AOS})の計算値と、Q_{AOS}経験後に荷重をQ_{AO}まで除荷した時点のひび割れ幅を示す。Q_{AOS}は、RC規準¹⁾による式(3)から求めた。

$$Q_{AOS} = b \cdot j \cdot \left\{ \frac{2}{3} \cdot \alpha \cdot f_s \cdot \left(1 - \frac{H}{D}\right) + 0.5 \cdot f_t \cdot (p_s - 0.002) \right\} \quad (3)$$

記号はRC規準¹⁾を参照

Q_{AOS}経験後にQ_{AO}まで除荷した時のひび割れ幅は、H/D=1/2で0.35~0.6mm、H/D=1/2.4では0.25mmと、開孔径比による影響がみられるとともに、前述した制限値を上回っていた。また、すべての試験体においてQ_{AOS}からQ_{AO}まで除荷してもひび割れはほとんど閉じなかった。

5.4 短期許容せん断力の低減

Q_{AOS}により基準化した梁のせん断力と開孔周囲のひび割れ幅の関係を図-9に示す。通常、Q_{AOS}の適用性を、Q_{AOS}到達後にQ_{AO}まで除荷した時点のひび割れ幅と、その制限値との関係から確認する。しかし、今回の

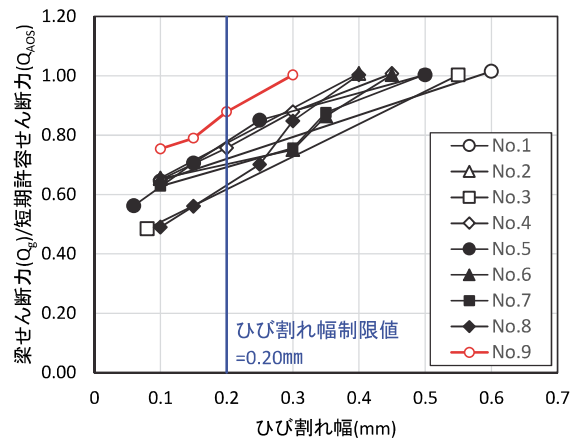


図-9 梁のせん断力と開孔周囲のひび割れ幅の関係

実験では、除荷時にひび割れ幅がほとんど閉じなかったことから、除荷時ではなく、Q_{AOS}へ向かう梁せん断力とひび割れ幅の関係から確認した。

開孔周囲のひび割れ幅が制限値である0.2mmに達するのは、H/D=1/2 (No.1~8)では梁のせん断力がQ_{AOS}の概ね0.6~0.8倍に達した時点、一方、H/D=1/2.4 (No.9)では概ね0.9倍に達した時点となり、H/Dにより違いがみられた。これより、ひび割れ幅を制限値に収めるためには、Q_{AOS}をH/D=1/2で最大0.6倍に、H/D=1/2.4で0.9倍程度に低減する必要がある。

6. せん断終局強度の評価

6.1 開孔周囲の補強筋の効果

開孔部あばら筋比のみ異なる試験体 No.1 (p_{wc}=0.46%)、No.2 (同0.91%)、No.4 (同1.22%)の荷重一部材角の包絡線の比較を図-10(a)に示す。No.1の最大荷重がNo.2より小さいのは、前述の通り開孔部あばら筋比が小さく、開孔周囲でせん断破壊する以前に、弦材のせん断破壊が先行したためと考えられる。一方、No.2とNo.4の最大荷重は同程度で、開孔部あばら筋比の影響がみられなかった。このことから、開孔周囲のせん断破壊が先行す

る場合では、開孔部あばら筋が開孔周囲の最大荷重に与える影響は小さいと考えられる。

開孔際あばら筋比のみ異なる No.4 ($p_{ws}=0.44\%$) と No.5 (同 0.97%) の比較を図-10(b)に示す。両試験体の最大荷重は同程度であり、差はみられない。これは、4.2節で述べたように、開孔際あばら筋比が大きい No.5 では降伏ひずみに達していないことを踏まえると、せん断終局強度に考慮できる開孔際あばら筋に上限があると考えられる。

6.2 せん断終局強度式

表-4に、せん断終局強度 (Q_{SUO}) の計算値と実験値 (最大荷重) との比較を示す。計算値は RC 規準りに基づく開孔径が梁せいの $1/3$ までを対象とした式(4)から求めた。ただし、開孔際あばら筋比については、今回の実験結果より上限を 0.4% に設定した。

$$Q_{SUO} = \left(\frac{0.092 \cdot k_u \cdot k_p \cdot (F_c + 18)}{\frac{M}{Q \cdot d} + 0.12} \cdot \left(1 - 1.61 \cdot \frac{H}{D} \right) + 0.85 \sqrt{p_{ws} \cdot w_s \sigma_y + p_{wd} \cdot w_d \sigma_y} \right) \cdot b \cdot j \quad (4)$$

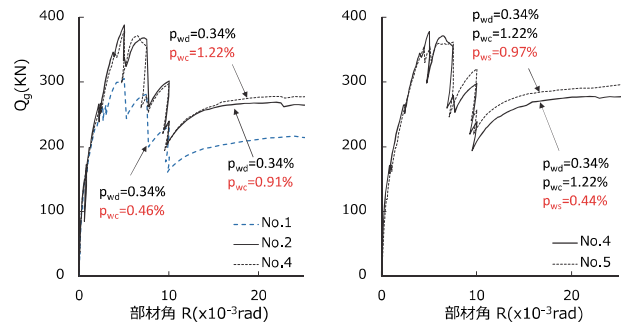
ただし、 k_u : 有効せいによる係数、 k_p : 引張鉄筋比による係数、 b 、 D 、 d 、 j : 梁幅、梁せい、有効せい、および応力中心距離(mm)、 F_c : コンクリート強度(N/mm²)、 H : 開孔直径(mm)、 $M/(Q \cdot d)$: 梁のせん断スパン比、 p_{ws} : 開孔際あばら筋比、 p_{wd} : 平行四辺形斜め補強筋比、 $w_s \sigma_y$ 、 $w_d \sigma_y$: それぞれ開孔際あばら筋、平行四辺形斜め補強筋の降伏強度(N/mm²)、その他の記号は RC 規準りによる

弦材でせん断破壊した No.1 を除く試験体について、実験値/計算値の比は $1.05 \sim 1.30$ となり、計算値は実験値を安全に評価した。No.7 の実験値/計算値の比が他に比べて低いのは、図-6に示すように、開孔際あばら筋に生じるひずみがコンクリート強度の影響により小さかったことが一因と考えられる。低強度コンクリートを使用する場合の評価法については、今後の課題である。

7. まとめ

今回の実験により、以下のことが確認できた。これにより、本工法による補強、および評価方法を用い、梁せいの $1/2$ の大開孔を有する基礎梁の検討が可能となった。

- i. 試験体 No.2~9 の破壊形式は、開孔周囲のせん断破壊であったが、開孔部あばら筋比が小さい No.1 では、想定した開孔周囲のせん断破壊ではなく、弦材のせん断破壊となった
- ii. H/D が $1/3$ を超える開孔径を有する基礎梁では、RC 規準による短期許容せん断力時のひび割れ幅の制限値を満足しない
- iii. ひび割れ幅の制限値を満足するためには、短期許容せん断力を $H/D=1/2$ で最大 0.6 倍に、 $H/D=1/2.4$



(a) 開孔部あばら筋比の影響 (b) 開孔部あばら筋比の影響
図-10 荷重一部材角の包絡線の比較

表-4 計算値と実験値 (最大荷重) の比較

| 試験体名 | 計算値 | | 実験結果 | | | 破壊形式 |
|------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|------|
| | Q_{MU} (kN) | Q_{SUO} (kN) | Q_{max} (kN) | R_{max} ($\times 10^{-3}$ rad) | Q_{max}/Q_{SUO} | |
| No.1 | 565 | 300 | 305 | 5.0 | 1.02 | CS |
| No.2 | 565 | 301 | 388 | 5.0 | 1.29 | HS |
| No.3 | 565 | 362 | 429 | 6.5 | 1.19 | HS |
| No.4 | 583 | 290 | 378 | 5.0 | 1.30 | HS |
| No.5 | 583 | 287 | 362 | 7.5 | 1.26 | HS |
| No.6 | 583 | 292 | 350 | 4.8 | 1.20 | HS |
| No.7 | 583 | 280 | 294 | 4.6 | 1.05 | HS |
| No.8 | 583 | 353 | 431 | 6.4 | 1.22 | HS |
| No.9 | 711 | 399 | 502 | 4.8 | 1.26 | HS |

Q_{max} : 最大荷重、 R_{max} : Q_{max} 時部材角、 Q_{MU} : 略算式¹⁾による曲げ耐力時せん断力、 Q_{SUO} : せん断終局強度計算値で式(4)による、破壊形式 : HS は開孔周囲のせん断破壊、CS は弦材のせん断破壊

で 0.9 倍程度低減する必要がある

- iv. せん断終局強度に考慮できる開孔際あばら筋比には上限がある
- v. 弦材でせん断破壊した No.1 を除く試験体について、実験値/計算値の比は $1.05 \sim 1.30$ となり、計算値は実験値を安全に評価した

8. あとがき

本工法により、人通孔を有する基礎梁について合理的な設計が可能となる。開発を機に積極的に提案していきたい。

【参考文献】

- 1) 「鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説」、日本建築学会、2010
- 2) 「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説」、日本建築学会、1999
- 3) 津村浩三、遠藤利根徳、清水 泰、能勢泰延、「斜めワイヤメッシュで補強した鉄筋コンクリート造有孔梁の多数回くり返し水平加力実験 (その7) 孔部せん断ひび割れ強度の推定」、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.501-502、1985