

RC 造建物の梁端部開孔補強の設計・施工

都祭 弘幸*

要 旨

鉄筋コンクリート造の集合住宅では、設備配管用の開孔部を大梁に設けることが多い。従来の設計・施工では、地震時における構造性能を低下させないという観点から開孔位置は柱面から大梁の梁せい分を避けた範囲に設けている。そのような設備配管設置により、室内に「下がり天井」が余儀なく張り出される。この下がり天井によって室内空間が圧迫されることとなる。

上記の問題を解決すべく、梁端部に開孔を設けることを可能にする補強方法に関する共同研究が 10 社により 2000 年度からスタートした。構造実験や施工実験を実施し、その結果を設計施工指針としてまとめ、2002 年 9 月に(財)日本建築総合試験所から建築技術性能証明を取得した。本工法を採用することにより、大梁の端部にも開孔を設けることができるようになり、設備配管の開孔位置に関しては設計・施工の自由度が増し、室内を圧迫する「下がり天井」の範囲は大幅に小さくすることができる。

本報は、研究の成果として梁端部開孔補強法の設計手法を説明するとともに、施工実験の結果を述べ、施工上の留意点に関して報告するものである。

1. はじめに

2001 年度にスタートした 10 社による共同研究「梁端開孔補強研究会」は、梁端部に開孔を設けた場合の構造性能に関して座屈補強筋と開孔径をパラメータとした 12 体の構造実験を 2001 年度に実施し、さらに 2002 年度はコンクリート強度、開孔径、孔際・開孔・座屈補強筋、開孔位置などをパラメータとした 16 体の構造実験と施工実験を実施した。

共同研究では、構造実験による構造性能の把握だけでなく、実験結果を基にした構造設計手法および施工方法について(財)日本総合試験所から建築技術性能証明を取得することを目的とした。同試験所による審議を経て、2002 年 9 月 3 日に建築技術性能証明書(性能証明第 02 - 09 号)が梁端開孔補強研究会に公布され、一般的な工法として設計・施工ができるようになった。なお、共同研究参加会社は、(株)浅沼組、安藤建設(株)、大木建設(株)、(株)奥村組、(株)熊谷組、五洋建設(株)、大末建設(株)、日産建設(株)、松村組(株)、ティエム技研(株)(五十音順)の 10 社である。

本工法には適用範囲が存在し、梁端部のいかなる位置あるいはどのような開孔を設けた場合でも適用できるものではなく、開孔補強筋も使用するメーカーと製品が限定されている(図 - 1 参照)。性能証明された適用範囲は設計指針に示されており、梁せいと開孔径との比・開孔位置、コンクリート強度や配筋規定などがある。施工においても、開孔補強筋の向き、座屈補強筋の角度や定着長、孔際補強筋の範囲などについて指針で定められた方法に準拠することが重要である。

本報では、2002 年度に梁端開孔補強研究会において実施

した構造実験や施工実験に関する報告と取得した建築技術性能証明の指針の中で重要と考えられる構造設計・施工上の留意点について述べる。

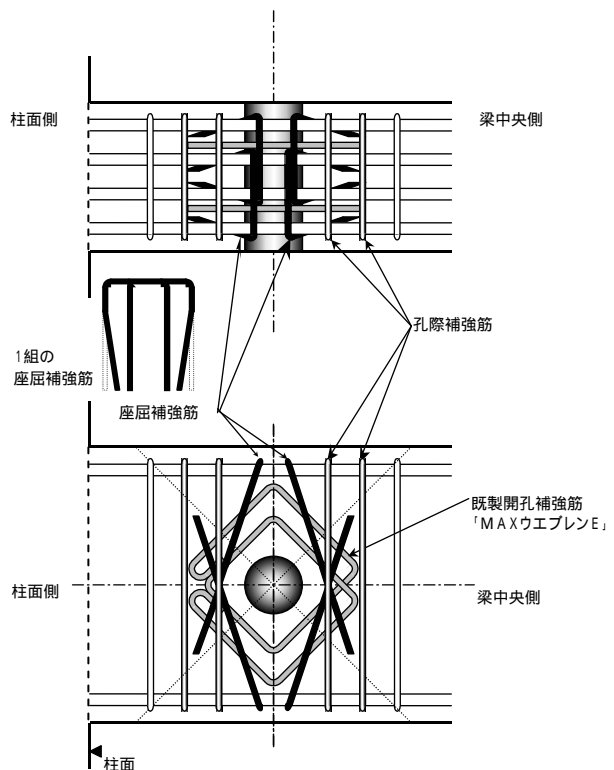


図 - 1 梁端開孔補強工法配筋要領図

*建築エンジニアリング部

2. 構造実験

2001 年度は、主に座屈補強筋と開孔径をパラメータとした 12 体の構造実験^{1) 2)}を実施した。2002 年度は、前年度と同一サイズの試験体($b \times D=300\text{mm} \times 400\text{mm}$)で、コンクリート強度、開孔径、開孔水平位置、開孔の偏心距離、補強筋量(孔際・開孔・座屈の各補強筋量)をパラメータとした 16 体の構造実験を実施した。

これら構造実験の実験計画、各試験体の実験結果などに關しては、文献 3)に詳細が示されているので割愛する。

3. 設計指針

3.1 適用範囲

本工法は、RC 造の梁に適用するものであるが、研究会で実施した構造性能実験および既往の構造実験の結果に基づき、適用できる梁形状、開孔径・開孔位置を表 - 1 の範囲としている。

梁端部とは、図 - 2 における材端部の柱面から梁せい D の範囲を指す。この範囲に設けられる開孔は 1 つで、直径が $D/3.5$ 以下かつ 300mm 以下で、柱面から開孔の中心までの最小寸法は $D/3$ となる。

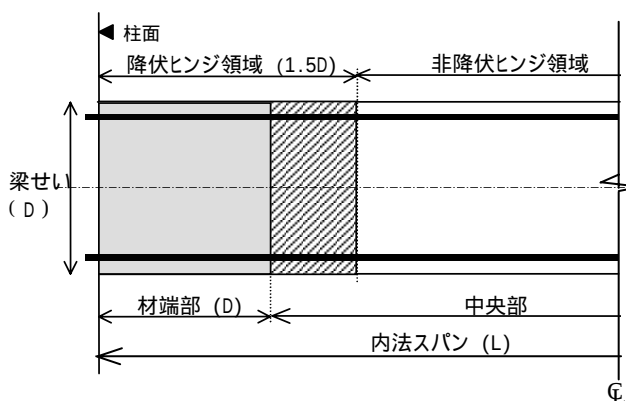


図 - 2 梁端部と降伏ヒンジ領域

表 - 1 適用条件

梁内法スパン: L/D	4 以上
開孔形状	円形
梁端部孔箇所数	1 つの梁端部につき 1 箇所
直径: H	$D/3.5$ 以下、かつ、300mm 以下
柱面から開孔中心までの水平距離: A	$D/3$ 以上、かつ、 D 未満
へりあき寸法: D_e	$D/3$ 以上、かつ、200mm 以上

図 - 3 は表 - 1 に示す適用条件を図示したものである。へりあき寸法(梁の上端あるいは下端から開孔縁までの寸法)は $D/3$ 以上かつ 200mm 以上としているが、ボイドスラブを採用した梁ではこの規定では開孔が納まらない場合が考えられる。そこで、後述するへりあき部分でのせん断応力度レベルを抑えることにより、へりあき寸法を $D/3.5$ まで緩和できることとした。

梁端部開孔補強の範囲は図 - 3 示す梁端開孔補強範囲 (C) で開孔中心から左右 45 度に引いた直線が上下 1 段目主筋と交わる点の区間である。この範囲に孔際補強筋、開孔補強筋、座屈補強筋が配される。図 - 3 左側端部のような場合には柱面から開孔中心までの補強筋比と梁中央側の補強筋比が同じになるような補強量とする。

3.2 使用材料

本工法が適用できる材料の範囲は、以下の通りである。

・コンクリート設計基準強度

21N/mm² 以上 54 N/mm² 以下

・梁主筋

SD295A, SD295B, SD345, SD390, SD490 D13 ~ D41

・あばら筋、孔際補強筋

SD295A, SD295B, SD345 (21 Fc 36) D10 ~ D16
685, 785, 1275N/mm² 級 (36 Fc 54) 6 ~ 16mm

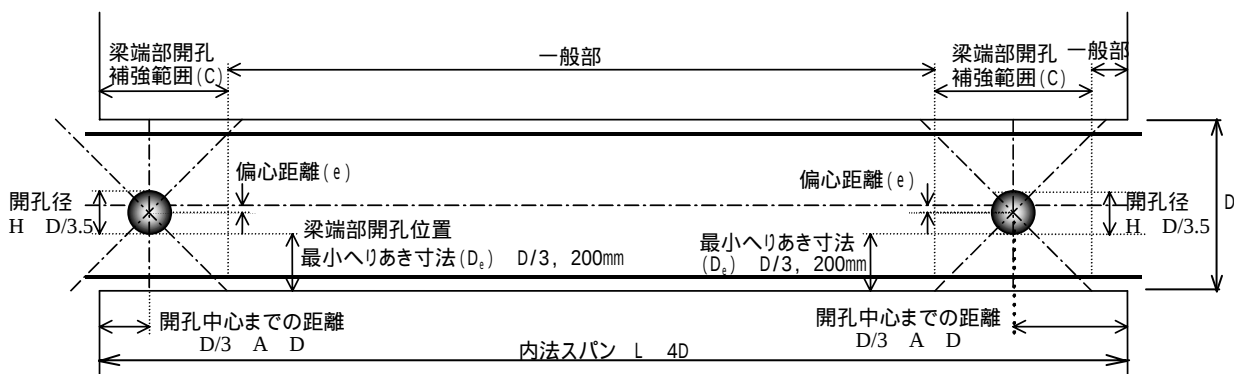


図 - 3 開孔補強範囲、偏心距離、へりあき寸法

・座屈補強筋

SD295A、SD295B、SD345 (21 Fc 54) D10～D19

・開孔補強筋

785N/mm²級の鉄筋 6～16mm

あばら筋の鉄筋の種類は、開孔補強筋の鉄筋とコンクリートとの組合せに対応させた実験を行ったため、上記のようになった。また、孔際補強筋に 1275N/mm² 級の鉄筋を用いる場合、実験による検証を実施していないので設計に用いる値は 785N/mm² とする。

3.3 せん断応力度レベル

本工法が採用された RC 梁は、両材端部に曲げ降伏ヒンジを生じ、塑性変形角 $R_p = 1/50$ (0.02rad.) 以上の変形能力を発揮できるように設計することを方針とする。

設計用せん断力を算出するための曲げ終局強度の算定時には表 - 2 に示す上限強度算定用の値を用いる。せん断強度の計算には信頼強度算定用を用いる。

表 - 2 鉄筋の材料強度

鉄筋の種類	信頼強度算定用	上限強度算定用
SD295A、SD295B	295N/mm ²	383.5N/mm ²
SD345	345N/mm ²	431.3N/mm ²
SD390	390N/mm ²	487.5N/mm ²
SD490	490N/mm ²	563.5N/mm ²
685N/mm ²	685N/mm ²	—
785N/mm ²	785N/mm ²	—
1275N/mm ²	785N/mm ²	—

注) 原則 SD490 の上限強度はメーカ管理値を採用する

図 - 3 に示す一般部に用いる 1275N/mm² 級の信頼強度は 1275N/mm² とする。

開孔を設けた梁端部のせん断終局強度は曲げ終局強度に対する余裕度を 1.2 とした式(1)を満足しなければならない。

$$Q_{su} \geq Q_L + 1.2 Q_{mu} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 Q_L は長期せん断力、 Q_{mu} は曲げ降伏時せん断力であり、 Q_{su} は有開孔梁のせん断耐力式で式(2)による。

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 p_t^{0.23} (F_c + 18) \left(1 - 1.61 \frac{H}{D} \right) + 0.85 \sqrt{p_v \sigma_{vy} + p_d \sigma_{dy}}}{M / (Q \cdot d) + 0.12} \right\} b \cdot j \quad \text{式(2)}$$

式(1)では、スラブ筋の効果として片側各 1.0m 内のスラブ筋を考慮する。また式(2)では、第2項において孔際補強筋および開孔補強筋を考慮している。

$$p_v : \text{孔際補強筋比} \quad 0.5\% \quad a_v / b \cdot C \quad 1.2\%$$

$$p_d : \text{開孔補強筋比} \quad 0.4\% \quad p_d = \frac{\sqrt{2} \cdot a_d}{b \cdot C} \quad 1.2\%$$

σ_{vy} : 孔際補強筋の規格降伏点(N/mm²)

σ_{dy} : 開孔補強筋の規格降伏点(N/mm²)

ただし、 $\sigma_{vy} \geq 25F_c$ 、 $\sigma_{dy} \geq 25F_c$ とする。

孔際および開孔補強筋量が梁端部に開孔を有する梁の靱性能に影響を及ぼすことが構造実験により確認された。実験結果の分析⁴⁾から、図 - 4 に示すように柱面におけるせん断応力度(τ_0)レベルと開孔が設けられる位置のへりあきの小さい方の断面のせん断応力度(τ_e)レベルによって規定することにより、限界部材角 $R_u = 1/25$ (0.04rad.) が確保できることが示された。

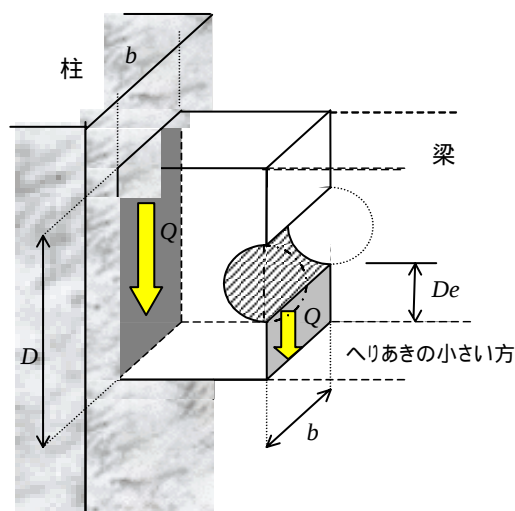


図 - 4 τ_0 と τ_e の定義

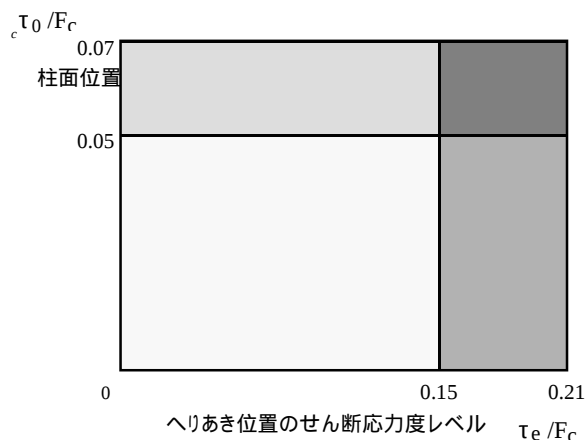


図 - 5 せん断応力度レベルによる領域区分

コンクリートで無次元化されたせん断応力度レベルは、下記のように実験で確認できた領域に制限されている。

$$\tau_0/F_c = (Q_L + Q_{mu}) / (b \cdot D \cdot F_c) \quad 0.07 \quad \text{式(3)}$$

$$\tau_e/F_c = (Q_L + Q_{mu}) / (b \cdot D_e \cdot F_c) \quad 0.21 \quad \text{式(4)}$$

さらに、座屈補強筋量も図 - 5 の領域 から コンクリート強度に応じて、 $p_b \sigma_{by}$ の下限が定められている。ただし、安全側となるよう $p_b \sigma_{by}$ は 1.2(N/mm²)以上でなければならない。

ボイドスラブのような場合を想定し、 $D/3$ 以上かつ 200mm 以上と規定されているへりあき寸法は $D/3.5$ まで緩和できるが、その場合には式(4)における τ_e/F_c の値を 0.18 以下となるように断面や材料を検討する必要がある。

4 施工実験

4.1 目的

構造実験結果から設計で保証すべき終局強度および変形性能を確保するためには、図 - 1 のように開孔補強筋および孔際補強筋のほかに主筋を拘束するように座屈補強筋により補強する必要があることが確認された。

この座屈補強筋は、梁の中央部に設けた開孔を既製の開孔補強筋を用いて補強する場合には通常配筋されず、配筋の施工性およびコンクリートの充填性は、これまで特に問題となっていない。しかし、本工法を用いて梁の材端部に設ける開孔を補強する場合の配筋は、座屈補強筋が必要となるため梁の中央部の開孔を補強する場合と比較して密となる。また、座屈補強筋に太径の鉄筋を用いた場合、コンクリートの充填性の問題に加えて配筋が可能であるか否かも懸念される。そこで、本実験は、施工性の確認、施工手順、施工時間、鉄筋の納まり状況およびコンクリートの充填性の確認を目的として実施した。

4.2 試験体

施工実験対象の梁断面は、 $B \times D = 500 \times 700\text{mm}$ で開孔径は 200mm($D/3.5$)とした。配筋は密な状況を想定し、梁主筋が 7-D29($p_t = 1.53\%$)で 2 段配筋、せん断補強筋は 4-D13 @ 100($p_w = 1.02\%$)とした。柱は $850 \times 650\text{mm}$ の断面で、主筋 16-D29とした。

施工実験では、表 - 3 に示すように 5 つのケースを想定した。ケース 1 ~ 4 では、実験パラメータを孔際補強筋量および座屈補強筋量とし、開孔補強筋量は一定 ($p_d = 1.06\%$ 、開孔補強筋 4 枚)とした。最も配筋が密な Case-5 についてはコンクリート打設における施工性および充填性を確認するために、直交方向の梁 ($B \times D = 400 \times 600\text{mm}$) を設けた。充填性の確認は、硬化後に試験体を切断して切断面の状況を観察した。

座屈補強筋の形状は、図 - 6 に示すように主筋 3 本ずつに掛けるタイプと外周筋と中子筋に掛けるタイプの 2 種類を検討した。試験体配筋図を図 - 7 に示す。開孔補強の施工手順は、無開孔梁の配筋状態から開孔部のあばら筋を抜げて開孔補強筋を梁の中に挿入しておく。開孔部の孔際補強筋・座屈補強筋・開孔補強筋の施工手順を比較するための試験として Case-1 で A、B、C の実験を行った。

Case-2 ~ 5 に関して 2 人の鉄筋工によって配筋に要した時間を計測した。試験は 1 本の梁について配筋・解体を繰返しているため、同一配筋の場合、時間計測を省略した。

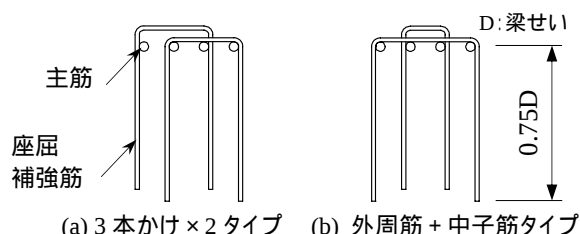


図 - 6 座屈補強筋のタイプ

表 - 3 施工実験試験体諸元

	Case-1			Case-2	Case-3	Case-4	Case-5
	A	B	C				
開孔補強筋(KSS785)	4 枚 (S13) pd=1.06%						
孔際補強筋(SD295A) pv(%)	4-D13 3 組 1.13			4-D13 2 組 0.75	2-D13 3 組 0.56	4-D13 3 組 1.13	
座屈補強筋(SD295A) タイプ pb(%)	4-D16			4-D13			4-D16
	外周 + 中子	3 本かけ × 2					
	0.76			0.48			0.76
開孔部施工手順							

開孔部施工手順： 孔際補強筋→開孔補強筋→座屈補強筋

孔際補強筋→座屈補強筋→開孔補強筋

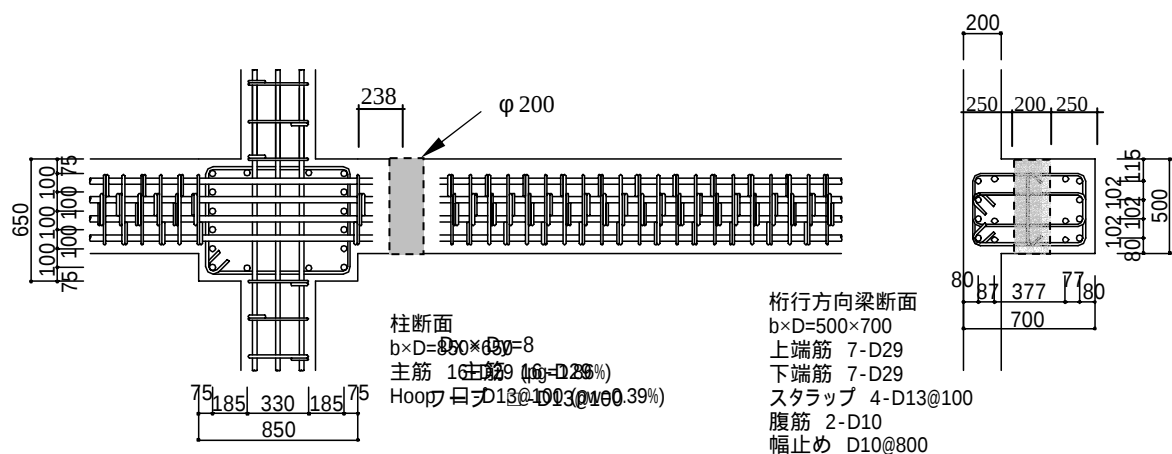


図 - 7 試験体配筋図

表 - 4 配筋作業計測時間

		Case-2	Case-3	Case-4	Case-5
孔際補強筋	配筋 結束時間	4-D13 2組 4分	2-D13 3組 6分30秒	4-D13 3組 11分45秒	4-D13 3組 —
座屈補強筋	配筋 挿入・結束時間	4-D13 13分00秒	4-D13 12分45秒	4-D13 15分45秒	4-D16 13分52秒
開孔補強筋	位置合せ・結束時間	5分30秒	6分00秒	7分45秒	7分36秒

4.3 施工実験結果

Case-1 の A、B、C から

- ・座屈補強筋は(外周筋 + 中子筋タイプ)よりも(3 本かけ×2 タイプ)の方が時間が掛からない
- ・孔際補強筋→座屈補強筋→開孔補強筋(あらかじめ挿入しておいた開孔補強筋を定位置にセットする)という手順が施工性で有利である

ことが確認された。

孔際補強筋の位置出し調整には 4 分要し、座屈補強筋の位置出しには 30 秒要する。Case-2～5 の配筋計測時間を表 - 4 に示す。Case-5 の孔際補強筋の結束時間は同一配筋の Case-4 で代表されるものとする。Case-5 は孔際補強筋・座屈補強筋・開孔補強筋ともに上限に近い配筋であり、梁端部開孔補強としては最も密な状況に相当する。今回の実験で配筋量が少ない Case-3 と密な状況の配筋出来形をそれぞれ写真 - 1、2 に示す。補強筋量の増加に応じて時間を要する傾向が見られる。

この施工実験を基に梁端部開孔補強の配筋に要する時間を表 - 5 のように想定した。本工法の比較的密な配筋に要する時間は、鉄筋工の習熟効果を考慮してトータル 38 分 30 秒とした。従来工法と比較すると、孔際補強筋に関しては同じ条件であるので、工程 2 を除く時間の合計 28 分 30 秒が余分に掛かる時間と考えられる。

Case-5 の配筋終了後、打設したコンクリートは設計基準強度 21N、最大粗骨材 20mm、スランプ 18cm の普通コンクリー

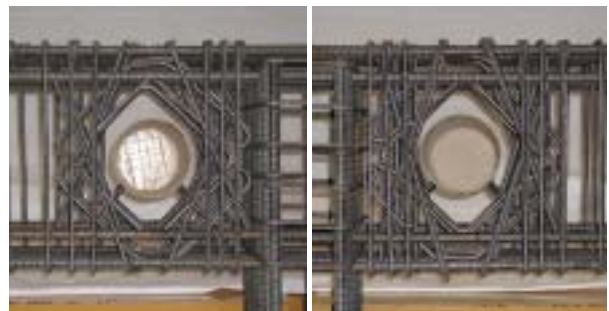


写真 - 1 Case-3 出来形 写真 - 2 Case-5 出来形

表 - 5 配筋工程と想定時間

作業工程・項目	所要時間
1 梁上端筋上部から開孔補強筋挿入	2 分
2 孔際補強筋 (あばら筋を移動・結束)	10 分
3 座屈補強筋 (位置だし・挿入・結束)	14 分
4 開孔補強筋 (位置移動・結束)	6 分 30 秒
5 座屈補強筋 (位置傾き修正)	6 分
合計時間	38 分 30 秒
従来の開孔補強工法よりも要する時間	28 分 30 秒

トである。打設状況を写真 - 3 に示す。また、コンクリート出来形を写真 - 4 に示す。

コンクリートの打設は一般的な方法であり特別な器具工具や打設手順を行ったものではない。



写真 - 3 コンクリート打設状況



切断面位置

写真 - 4 コンクリート出来形

凡例) 黒:梁主筋、青:座屈補強筋、赤:開孔補強筋



a) 梁端部側断面



b) 梁中央側断面

写真 - 5 切断面の充填状況

写真 - 4 から開孔補強筋がほぼ上限である配筋においてもジャンカや過度の気泡などの不具合は見られない。外観だけでなく、開孔補強部のコンクリート充填性を確認するために開孔部近傍を切断し、内部の充填性を観察した。切断位置は、開孔際から 80mm である。切断面の状況を写真 - 5 に示す。孔際補強筋を除き、凡例に示すよう鉄筋に着色し各補強筋の影響が観察できるようにした。

写真 - 5 に見るように、本工法の上限に相当するような密な開孔補強筋状態である Case-5 の配筋においても内部までコンクリートが充填していることが確認された。

5. まとめ

鉄筋コンクリート造の梁端部開孔補強方法に関して、構造実験から得られた知見により作られた指針の適用範囲と構造概要を示し、設計・施工上の留意点を述べた。梁中央部に設けられる開孔補強よりも密な配筋となるため、実際の施工に際しては配筋に要する施工時間やコンクリートの充填性に留意する必要がある。

施工実験を通して確認されたことを以下に示す。

- 1) 本工法による開孔部補強筋の施工手順は、孔際補強筋 → 座屈補強筋 → 開孔補強筋という順番が施工性が良い。座屈補強筋の前に開孔補強筋を配すると効率が悪くなる。

- 2) 本実験の場合、座屈補強筋の形状は(外周筋 + 中子筋タイプ)よりも(3本かけ×2タイプ)の方が作業効率が高かった。
- 3) 本工法による開孔補強筋の配筋時間は、約 39 分要することが想定される。実際の現場では作業者の習熟効果により時間短縮は可能であろう。
- 4) 本工法においてほぼ上限に相当する開孔補強筋を配した開孔部でも、一般的な打設方法によりコンクリートは密実に充填することができる。

最後に、本施工実験から梁中央部の開孔補強に比べて約 29 分配筋に時間が必要とすることが予想されるが、梁端部に開孔を設けることにより、ダクト長さの短縮・下がり天井範囲縮小による仕上げ工事の効率向上など工事上のメリットもある。適用に際しては、意匠・構造・設備トータルな計画の上、適用箇所・開孔位置を決定する必要がある。

謝 辞

本研究は、梁端開孔補強研究会(参加会社前出)により意匠的な設計自由度を拡げ、居住空間を改善する目的で研究開発された。ここに記して関係者の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 村田義行、長井信夫: 梁端部の開孔補強法の開発、五洋建設技術年報、Vol.32、pp64～71
- 2) 濱田真他: 材端部に開孔を有する RC 梁の構造特性に関する実験的研究(その 1～4)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造、pp227～234、2002.8
- 3) 萩原幸男他: 材端部に開孔を有する RC 梁の構造特性に関する実験的研究(その 5～6)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造、2003.9
- 4) 濱田真他: 材端部に開孔を有する RC 梁の構造特性に関する実験的研究(その 7)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造、2003.9