

2

既存RC梁に関する貫通孔補強法の開発

市川 昌和^{*1}・石渡 康弘^{*2}

概 要

建築物のリニューアル工事では、空調、給排水等の設備配管を新たに設けることが要求されるケースがある。この時、貫通孔新設による既存RC梁の構造性能低下を補うため、何らかの手法により貫通孔周辺を補強する必要がある。そこで、本開発では、既存RC梁に新設貫通孔を設けた場合、後施工による補強法を確立することを目的として、実験的研究を行った。既存RC梁に新設貫通孔を設ける場合の補強法として、貫通孔周辺を鋼板とエポキシ樹脂で補強する手法に着目し、補強材が貫通孔周辺のせん断強度に及ぼす影響を把握するため、構造載荷実験を実施した。実験の結果、新設貫通孔を設けても、後施工による補強法が有効に働き、せん断強度の向上が図れることを確認した。また、貫通孔に対して鋼板の有効面積を定めて求めた計算値は、実験値に対して安全側に評価できることを確認した。

キーワード：リニューアル工事，RC梁，貫通孔，鋼板補強，せん断強度

EXPERIMENTAL STUDY ON THE REINFORCEMENT AROUND THE PIPE-PENETRATING HOLE BORED IN AN EXISTING REINFORCED CONCRETE BEAM

Masakazu ICHIKAWA^{*1}, Yasuhiro ISHIWATA^{*2}

Abstract:

In some retrofit projects for buildings, it is necessary to install new piping systems for air conditioning and water supply and drainage. In these cases, a new hole penetrating the pipe bored in the existing reinforced concrete beam may weaken beam's structural performance. Therefore, the portion around the hole penetrating the pipe should be reinforced by an appropriate method. Experimental study was conducted aimed at establishing a suitable reinforcing technique after a new hole penetrating the pipe was bored in a reinforced concrete beam. One reinforcing method uses a steel plate and epoxy resin around the penetrating hole. Focusing upon this method, structural loading tests were performed to determine what effect the reinforcing materials exert on shear strength around the penetrating hole. The tests demonstrated that the reinforcement after boring the hole works well to improve shear strength. Furthermore, the authors confirmed that the value obtained by determining the effective area of the steel plate around the hole is more conservative than the experimental value.

Keywords: retrofit, reinforced concrete beam, penetrating hole, reinforcement with steel plate, shear strength

*1 Associate General Manager, Architectural Technology Department, Engineering Division

*2 Project Administration Center, Tokyo Railway Project Branch

既存 RC 梁に関する貫通孔補強法の開発

市川 昌和*¹・石渡 康弘*²

1. はじめに

建築物のリニューアル工事の際には、古くなった設備システムを更新するため、空調や給排水等の設備配管を新たに設けることが要求されるケースがある。この時、貫通孔新設による既存 RC 梁の構造性能低下を補うため、何らかの手法により貫通孔周辺を補強する必要がある。しかし、既存 RC 梁に貫通孔を新設し、その周辺を補強する場合の梁のせん断耐力等の構造性能には不明な点が多く、補強方法が確立していない。

そこで、本開発では、新設貫通孔を設けた既存 RC 梁に対して、後施工による鋼板を用いた補強法を確立することを目的として、実験的研究を行った。

2. 実験概要

2. 1 試験体および使用材料

表－1 に試験体の諸元を一覧にして示す。

図－1 に試験体配筋図および鋼板による貫通孔周辺の補強方法を示す。

試験体は縮尺 1/2 とした 4 体で、梁成の中央部に径 1/3D (D は梁成) の貫通孔を、1 組の横補強筋を切断するように設けた。各試験体とも、スパン、断面、主筋量、横補強筋量、および貫通孔を共通とした。実験因子はコンクリート強度、貫通孔周辺の補強の有無、および補強の範囲とした。No. 1 は無補強とし、No. 2～4 では鋼板により補強を行った。鋼板の幅は No. 2 と No. 4 では梁成 D と同じ 1.0D とし、No. 3 は 1.5D とした。鋼板の高さは、スラブ部分を除いた 300mm の高さとした。鋼板の取り付けは、実施工を想定し、4 本のあ

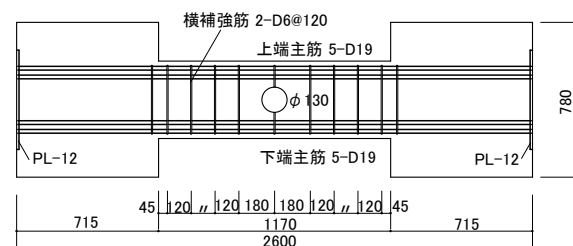
と施工アンカー M10 で固定し、鋼板と RC 躯体との隙間 5mm にはエポキシ樹脂を注入した。

使用材料は、No. 1～3 には Fc21 の普通コンクリートを、No. 4 には Fc36 の普通コンクリートを用いた。主筋には SD345 の D19 を、横補強筋には SD295 の D6 を、鋼板には SS400 の PL-4.5 を用いた。表－2 にコンクリートの試験結果を、表－3 に鋼材の試験結果をそれぞれ示す。

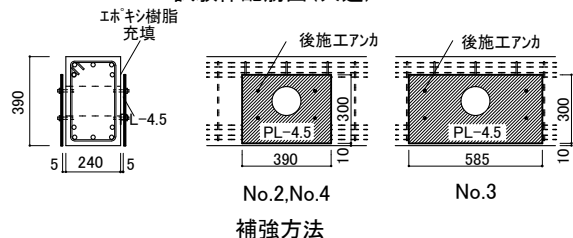
表－1 試験体一覧

試験体名	Fc (N/mm ²)	径 H (mm)	鋼板	
			厚×幅×高 (mm)	×梁成
No.1	21	130 (H/D=1/3)	— — —	— —
No.2			4.5×390×300	1.0D
No.3			4.5×585×300	1.5D
No.4	36		4.5×390×300	1.0D

【共通事項】
 $b \times D = 240 \times 390(\text{mm})$
 $L_o = 1170\text{mm}$ (M/QD=1.5)
 梁主筋 上端・下端とも 5-D19 (pt=1.78%)
 横補強筋 2-D6 @ 120 (pw=0.22%)



試験体配筋図(共通)



図－1 試験体配筋図および補強方法

*1 エンジニアリング本部 建築技術部 担当部長

*2 東京鉄道支店 生産計画部

表－２ 鋼材引張試験結果

種別	σ_y (N/mm ²)	E_s ($\times 10^5$ N/mm ²)	σ_u (N/mm ²)	備考
D6	363	1.79	528	SD295
D19	389	1.86	590	SD345
PL-4.5	315	2.00	455	SS390

表－３ コンクリート試験結果

試験体名	材令 (日)	σ_B (N/mm ²)	E_c ($\times 10^4$ N/mm ²)
No.1	38	23.0	2.73
No.2	40	23.6	2.75
No.3	42	24.5	2.94
No.4	46	33.2	2.89

２．２ 実験方法および計測方法

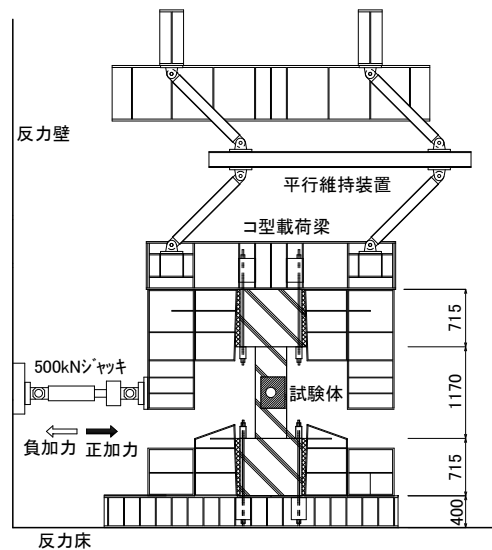
図－２に荷重装置の概要を示す。加力
は、建研式により逆対称応力分布になる
ように、正負交番繰り返し加力を行った。
加力サイクルは、 $R=\pm 1/800$ ， $\pm 1/400$ ，
 $\pm 1/200$ ， $\pm 1/100$ ， $\pm 1/50$ (rad.)をそれ
ぞれ１回繰り返した。

計測は、上下スタブ間の変形、軸変形、
梁端部の回転角および貫通孔周辺のせん
断変形等を変位計で、主筋、横補強筋お
よび鋼板表面の歪を歪ゲージで測定した。

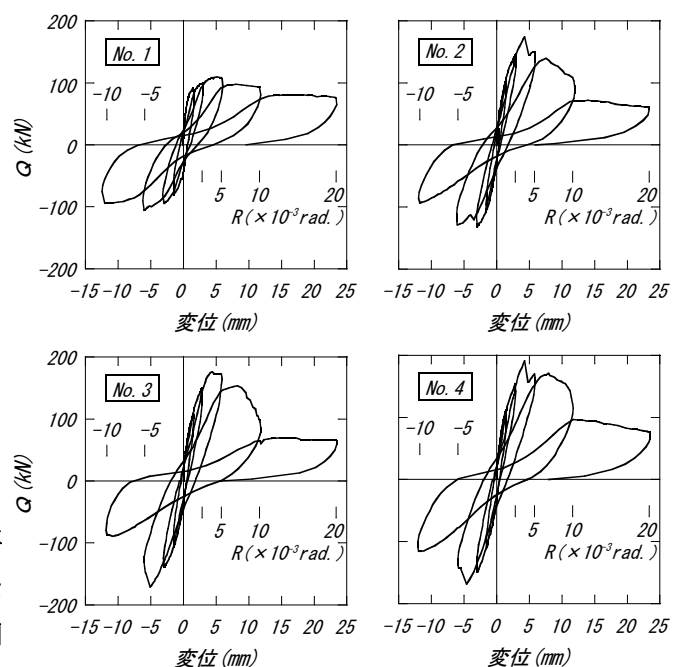
３． 実験結果

図－３に各試験体の荷重－変形関係を、写
真－１に最終ひび割れ状況を、表－４に主な
諸現象の発生時の荷重と部材角の関係を、図
－４に荷重－変形関係の包絡線の比較を示す。

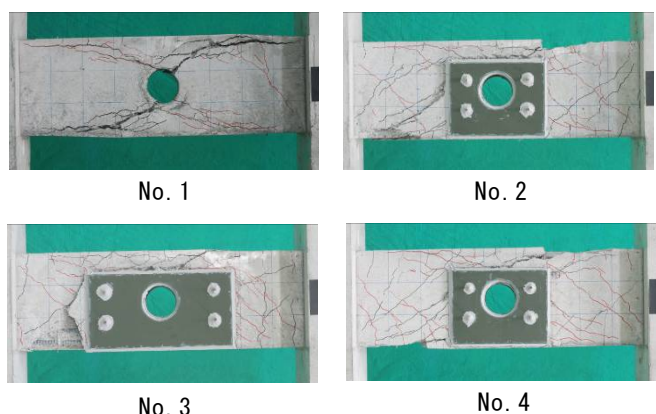
無補強の No.1 では、第１サイクルの 0.67×10^{-3} (rad.)で貫通孔を横切るように斜めひび割れが発生し、剛性が低下した。第３サイクルの 4.39×10^{-3} (rad.)で最大耐力に達した後、徐々に荷重低下が生じた。一方、鋼板により補強した No.2 では第２サイクルの 2.31×10^{-3} (rad.)で、No.4では第２サイクルの 2.19×10^{-3} (rad.)で、貫通孔内部にひび割れが発生した。鋼板長さを $1.5D$ とした No.3 では第３サイクルの 3.18×10^{-3} (rad.)で貫通孔内部にひび割れが発生したことより、鋼板長さを大



図－２ 荷重装置



図－３ 荷重－変形の関係



写真－１ 最終ひび割れ状況

きくすることにより，内部のひび割れの発生をやや遅らせる効果がみられた。その後，No. 2～4 は全て第 3 サイクルの $4.0 \times 10^{-3}(\text{rad.})$ 手前で最大耐力に達し，孔内のひび割れが拡大すると同時に，急激に耐力低下が生じた。補強に用いた鋼板は最後まで降伏していない。最大耐力について比較すると，補強した No. 2 と No. 3 は無補強の No. 1 と比較して約 1.6 倍高くなり，鋼板補強の効果がみられた。ただし，鋼板の幅を 1.0D から 1.5D と大きくしても，最大耐力への影響は小さい。また，コンクリート強度を Fc21 とした No. 2 と Fc36 とした No. 3 を比較すると，No. 3 の方が約 10% 最大耐力が高くなった。

コンクリート強度を Fc21 とした No. 2 と No. 3 ではエポキシ樹脂とコンクリートとの剥離はみられなかったが，Fc36 と高くした No. 4 では貫通孔下部から，梁底にかけてエポキシ樹脂とコンクリートとの剥離がみられた。なお，各試験体とも鋼板とエポキシ樹脂との剥離は一切みられなかった。

4. 実験結果の検討

4. 1 貫通孔周辺のせん断変形の比較

図-5 に No. 1～3 の貫通孔周辺のせん断変形角－荷重の関係を示す。貫通孔のせん断変形角は，鋼板を避けて梁の上面と底面に全ネジ棒を固定し，その全ネジ棒に変位計を対角線状に取り付けて測定した。

同図より，無補強の No. 1 は初期の段階からせん断変形角が大きく，最大耐力以降貫通孔周辺のコンクリートがせん断破壊した後，せん断変形角が大きくなっている。一方，鋼板補強した No. 2 と No. 3 については，最大耐力までのせん断変形角は全般的に小さく，鋼板補強の効果がみられた。最大耐力以降急激に大きくなり，最後の押し切りでは，貫通孔周辺のコンクリートがせん断破壊し，無補強の No. 1 と同じようなせん断変形角を示した。ただし，鋼板の大きさを変えたことによる著し

表-4 実験結果一覧

試験体 現象	No.1	No.2	No.3	No.4
貫通孔内部に ひび割れ発生	77.1 1/1492	142.5 1/432	168.5 1/314	145.7 1/456
横補強筋降伏 (孔周辺)	89.7 1/617	145.5 1/236	-149.2 -1/203	157.3 1/241
最大耐力時	109.6 1/228	174.2 1/273	176.6 1/266	191.8 1/272

注)・上段は荷重(kN)を，下段は部材角(rad.)を示す。

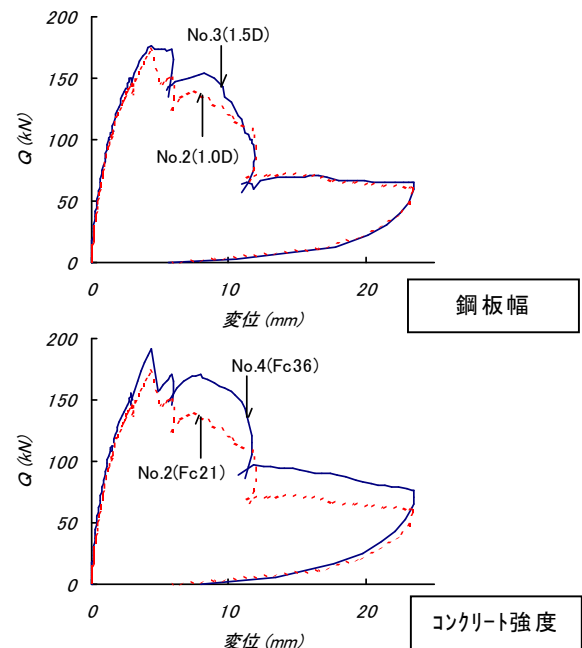


図-4 荷重－変形関係の包絡線の比較

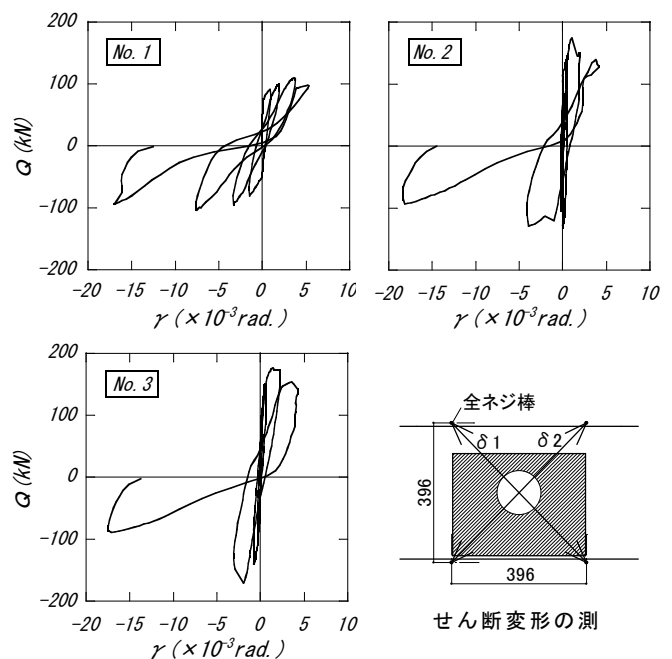


図-5 荷重－変形関係の包絡線の比較

い効果はみられなかった。

4. 2 各変形成分の割合

図-6に負荷荷における各サイクルピーク時の全体変形に対する各変形成分の割合を示す。各試験体とも変形の増大に伴い、貫通孔のせん断変形成分が増大し、梁端部の回転角による変形成分が減少している。無補強のNo.1と比較して、貫通孔を鋼板補強したNo.2～4は、全般的にせん断変形成分が小さいことから、鋼板補強によるせん断変形の抑制効果があることがわかる。

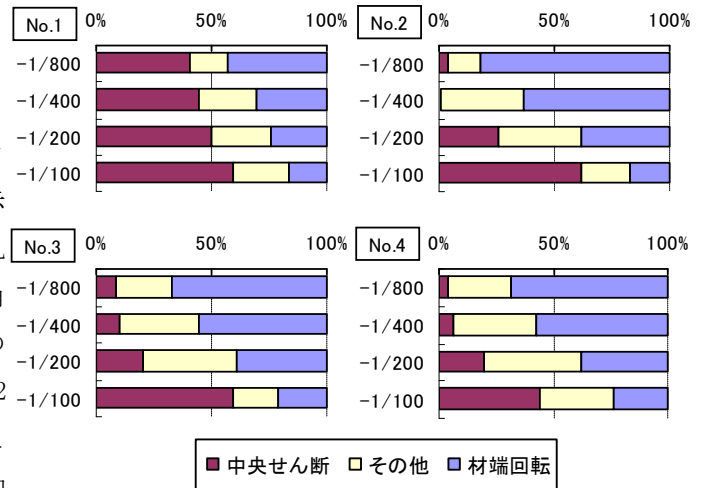


図-6 全体変形に占める各変形成分の割合

4. 3 横補強筋の歪分布の比較

図-7に正載荷における各サイクルピーク時の横補強筋の歪分布をNo.1～3について示す。無補強のNo.1では、荷重が増加するに従い、横補強筋の歪は漸増しており、最大耐力時では貫通孔両側の横補強筋がほぼ降伏歪に達した。鋼板により補強したNo.2とNo.3では最大耐力時の横補強筋の歪は小さい。最大耐力以降、せん断破壊が進行するに従い、横補強筋の歪が大きな値を示している。これは、鋼板とコンクリート躯体との接着が緩むことにより、鋼板の補強効果が小さくなり、横補強筋が有効に働いたことによると思われる。なお、No.2に対して、鋼板長さを大きくしたNo.3では最大耐力以降の歪の増大が小さい傾向を示した。

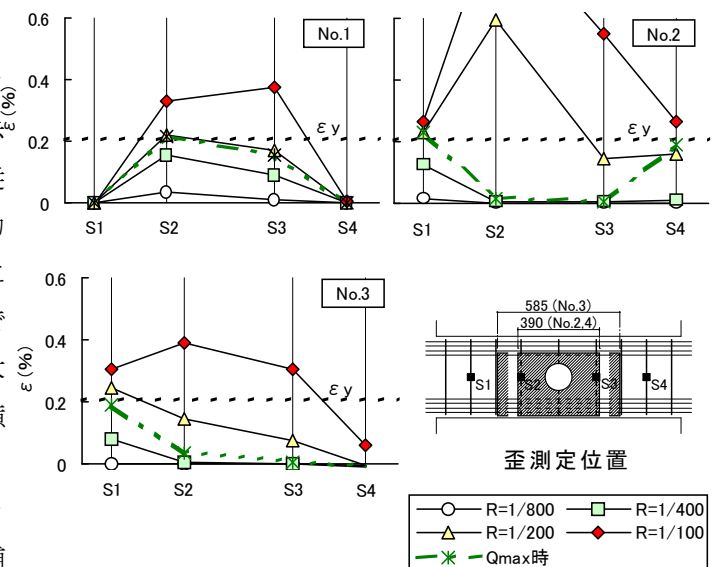


図-7 横補強筋の歪分布

4. 4 鋼板の歪

図-8に鋼板に生じた最大主歪－荷重の関係を示す。No.2～4について比較すると、各試験体とも明確な差はみられない。最大主歪は全般的に小さく、最大耐力時で0.03%以下、貫通孔周辺のせん断破壊がかなり進行したR=1/100(rad.)でも0.05%以下と小さい。本補強法では、鋼板補強の耐力寄与分は、鋼板とコンクリート躯体との接着強度で定まっているため、鋼板自体に生じる歪が小さいものと

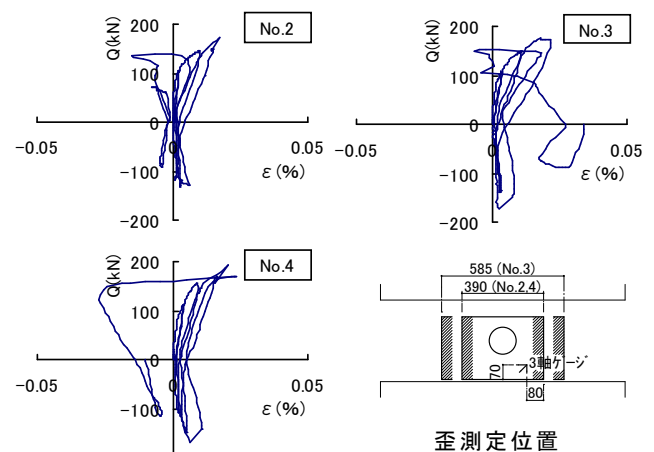


図-8 鋼板の最大主歪－荷重の関係

考えられる。

4. 5 実験値と計算値の比較

表－5 に最大耐力時の実験値と計算値の比較を一覧にして示す。なお，せん断強度の計算値については，上段は計算値を，下段は実験値と計算値の比を示している。

各試験体とも，実験値は曲げ強度の計算値に達しておらず，貫通孔周辺のせん断破壊で耐力が定まっていることがわかる。貫通孔のせん断強度式として，鋼板補強の効果を考慮できる既往の提案式^{2), 3)}の2式で検討した。基本的に両式とも，文献1)に示された修正広沢式に鋼板補強の効果をとり入れており，鋼板補強による強度増加分として，コンクリートと鋼板の接着強度で評価することとしている。実験値と計算値の比は，鋼板幅を1.0DとしたNo.2とNo.4について比較すると， $Q_{su②}$ 式で1.17～1.30， $Q_{su③}$ 式で1.21～1.25と両式とも安全側に評価できる。ただし，鋼板幅を1.5DとしたNo.3については，計算値が実験値をやや下回っている。この理由として，鋼板の有効面積の捉え方によると思われる。今後，有効な鋼板面積について検討していく必要があると思われる。

5. まとめ

本実験の結果，以下のことが判明した。

- 1) 新設貫通孔を設けたRC梁を鋼板で補強することにより，せん断強度を向上させることができる。
- 2) 実験値と計算値について検討した結果，1.0D（Dは梁高）の幅の鋼板で補強した試験体については，鋼板補強の効果を取り入れた既往の提案式で安全側に評価できる。しかし，鋼板の幅が1.5Dの試験体については，わずかに危険側の評価となった。
- 3) 貫通孔周辺を鋼板で補強することにより，貫通孔周辺のせん断変形を拘束し，貫通

表－5 実験値と計算値の比較

試験体名	実験値	計算値			
	eQ_{max} (kN)	Q_{mu} (kN)	$Q_{su①}$ (kN)	$Q_{su②}$ (kN)	$Q_{su③}$ (kN)
No.1	109.6	289	46 (2.38)	—	—
No.2	174.2		—	134 (1.30)	139 (1.25)
No.3	176.6		—	179 (0.99)	181 (0.98)
No.4	191.8		—	164 (1.17)	158 (1.21)

注) 計算値は以下の算定式により求めた。

$$*Q_{mu} = 0.9a_t \cdot \sigma_y \cdot d / L_o$$

$$*Q_{su①} = \left\{ \frac{0.092Ku \cdot Kp(18 + \sigma_B)(1 - 1.61H/D)}{M/Qd + 0.12} + 0.85\sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} \cdot b \cdot j$$

$$*Q_{su②} = Q_{su①} + n_{PL} \cdot \alpha \cdot \tau_{bond} \cdot a_{bond_S}$$

$$*Q_{su③} = \left\{ \frac{0.092Ku \cdot Kp(18 + \sigma_B)(1 - 1.61H/D)}{M/Qd + 0.12} \right\} \cdot b \cdot j + n \cdot a_w \cdot \sigma_{wy} + 2\alpha \cdot \tau_{bond} \cdot A_{cl}$$

孔周辺のコンクリートのせん断破壊を有効に防止できる。

【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 1999
- 2) 白井，勝俣，古屋，関：既存鉄筋コンクリート梁の新設貫通孔補強に関する実験的研究 コンクリート工学年次論文集 Vol.27, No.2, pp.361～366, 2005
- 3) 津司，東端，木村，他3名：既存鉄筋コンクリート梁の鉄板貼付による開口補強法の実験的研究 その1, 2 日本建築学会大会学術講演梗概集 構造IV pp.477～480 1995.8

謝辞

本研究は，青木あすなろ建設，浅沼組，安藤建設，鴻池組，大末建設，東亜建設工業，ピーエス三菱，およびりんかい日産建設の8社と共同で行われたものです。関係者に深く謝辞を表します。