

特集 「リニューアル」

既存コンクリート梁の新設貫通孔に対する補強工法の開発



白井 和 貴



勝俣 英雄



古屋 則 之



木村 耕 三



関松 太郎

Development of Strengthening Method for New Opening in Existing Concrete Beam

Kazutaka Shirai Hideo Katsumata Noriyuki Furuya Kohzo Kimura Matsutaro Seki

Abstract

In renewal construction of buildings, it is often necessary to install new openings in existing beams. In these cases, strengthening methods need to be developed to maintain the beam's structural performance. These methods must not only provide sufficient strengthening effect, but also fulfill other demands such as low noise, low vibration, no welding, etc. This report describes the features of developed methods, their strengthening effect, and the strength evaluation formula after strengthening. These methods are expected to improve flexibility in renewal construction of building equipment.

概 要

建物のリニューアル工事の際には、既存梁への貫通孔の新設が要求される場合がある。このとき、貫通孔の新設による梁の構造性能の低下を何らかの手法により補う必要があるため、効果的な補強工法の開発が望まれていた。そこで、既存コンクリート梁の新設貫通孔を対象として、十分な補強効果を有し、かつリニューアル工事において要求される低騒音・低振動・無溶接などの諸条件を満たす補強工法を新たに開発した。本報では、開発した工法の特徴、補強効果、および補強後の耐力評価式について述べる。この貫通孔補強工法を活用することで、設備リニューアル工事における自由度の拡大が期待できる。

1. はじめに

建物のリニューアル工事において、古くなった設備システムを更新するため、空調ダクトなどの設備配管を新たに設けたいという要求は多い。これらの設備配管は天井裏（スラブ下）に配されることが一般的であり、既存の梁と干渉するため、Fig. 1 a) に示すように新設配管を梁下に通し、天井高を部分的に低くすること（下がり天井）により対応せざるを得ない状況であり、下がり天井の圧迫感により居住性が低下するという問題が生じていた。

下がり天井を避けて天井高を確保するためには、Fig. 1 b) に示すように、梁に新たに貫通孔を開けて配管を通す方法が考えられる。この場合、貫通孔の新設による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生じる。このため、貫通孔周辺を

効果的に補強でき、かつリニューアル工事に要求される諸条件を満足する工法の開発が必要とされていた。

そこで、既存の鉄筋コンクリート(RC)梁および鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)梁を対象とした、新設貫通孔に対する補強工法を開発した。

開発にあたり、RC梁試験体による静的載荷実験や無筋コンクリート要素試験を実施し、開発工法の補強効果について検討した^{1) 2) 3)}。その結果、既存梁に新たに貫通孔を設けても、孔の周辺に補強を施すことで、無孔時と同等以上のせん断耐力まで回復できることを確認した。

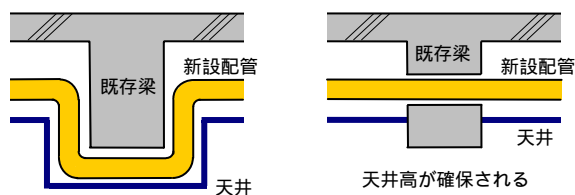
本報では、工法の特徴、補強効果、および補強時の耐力評価式について述べる。

2. 工法の特長

既存梁の新設貫通孔を補強するため、折り曲げ鋼板を用いた「折り曲げ鋼板補強」、L型の炭素繊維補強プラスチック(CFRP)板を用いた「L型CFRP板補強」、鋼管を用いた「鋼管補強」の3種の工法を開発した。各工法の特徴をTable 1に示す。本工法は、次に述べる1)~3)の特長を有している。

1) 低騒音・低振動・無溶接・低粉塵

本工法は、リニューアル工事において要求されることが多い「低騒音・低振動・無溶接・低粉塵」の条件を満たしており、リニューアル施工に適した補強手法である。



a) 下がり天井とする場合

b) 梁貫通孔 + 補強

Fig. 1 設備配管時のイメージ
Concept of Equipment Piping

2) 短工期・低コスト・良好な施工性

本工法の開発にあたり、補強性能に支障のない範囲で補強部材数量や施工工間を減らす工夫を行い、また施工性にも十分な配慮を行っている。

3) 豊富なバリエーション

実際のリニューアル設計・施工の際に生じる様々な要求に柔軟に対応できるように、折り曲げ鋼板補強、L型CFRP板補強、鋼管補強の3種類のバリエーションをもたせており、状況に応じて3種の工法のなかから最適な手法を選択可能である。

3. 各補強工法の説明

3.1 折り曲げ鋼板補強

折り曲げ鋼板補強の施工例をFig.2, Photo 1に示す。折り曲げ鋼板補強は、1組の折り曲げ鋼板を梁の両側面から接着して貼り付け、さらに鋼板上部をアンカーボルトにより固定する工法である。

Table 1 各工法の特徴
Feature of Strengthening Method

工法名	特徴
折り曲げ鋼板補強	孔径が中～大程度の貫通孔を対象 補強効果大
L型CFRP板補強	孔径が中～大程度の貫通孔を対象 補強効果大 施工性良好
鋼管補強	孔径が小～中程度の貫通孔を対象 短工期 低コスト

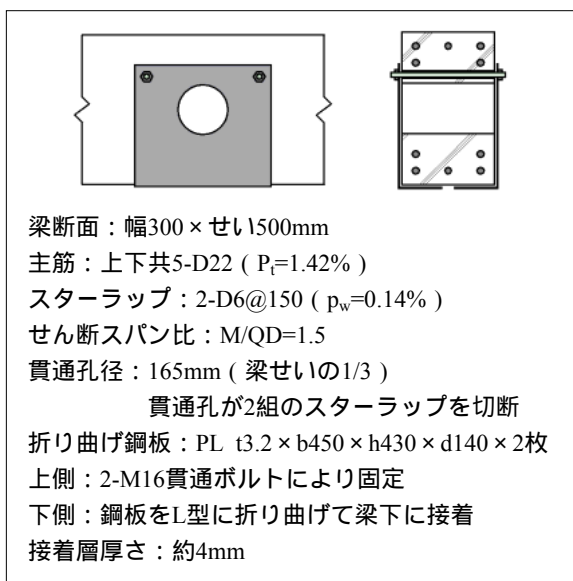


Fig. 2 折り曲げ鋼板補強の例 (B15-PLL試験体¹⁾)
Example of Bending Steel Plate Strengthening Method

鋼板(Photo 2)は、予めL型に折り曲げ加工し、接着面は付着性を向上させるためショットブラスト掛けやサンダー掛け等の処理を行っておく。接着にはエポキシ樹脂系の接着剤を使用し、鋼板の周囲をシール材で塞いだ後に、鋼板とコンクリートの間に接着材を注入する。

貫通孔やボルト孔の穿孔は、既に普及している低騒音・低振動タイプのコアドリルやスクリービットを使用することで低騒音・低振動への対応が可能である。

既存コンクリートの接着面は、付着性を高めるためコンクリート表面を薄く削り取る必要があるが、無塵サンダー⁴⁾を使用することで低粉塵・低騒音施工が可能である。

アンカーボルトには、貫通ボルト(鋼板の接着施工の際に同時にボルト孔とアンカーボルトの隙間にも接着剤を注入できる利点がある)、あるいは貫通させずに接着系のあと施工アンカー(適切なボルト埋め込み深さが確保できる場合に限り)を使用する。

L型の鋼板を用いることで、鋼板下側は梁側面および梁下面に広く接着させることができる。これにより、アンカーボルトによる固定が鋼板上側のみで済むため、ボルト本数を減らせる利点がある。また、L型とL型の組み合わせによりU型に準じた構成となるため、梁下側方向への拘束効果が期待でき構造性能の面からも有利となる。

なお、状況により折り曲げ鋼板が使用できない場合には、折り曲げ鋼板の代わりに平鋼板を用いることも可能であるが、その際には鋼板下側にもアンカーボルトによる固定が必要となる。

RC梁試験体を用いた静的実験結果¹⁾から得られた、せん断力-変形関係の包絡線をFig. 3に示す。梁せいの1/3



Photo 1 補強状況
View of Strengthening Portion

Photo 2 折り曲げ鋼板
Bending Steel Plate

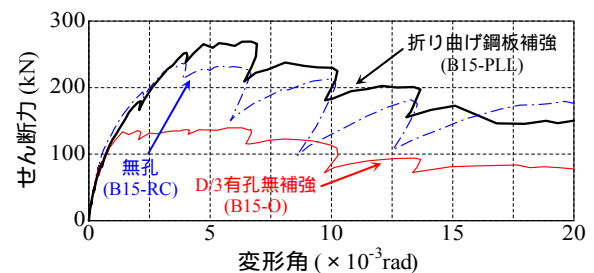


Fig. 3 折り曲げ鋼板補強の静的加力実験結果
Test Result of Bending Steel Plate

の直径の貫通孔を設けた場合でも、せん断耐力を無孔時と同等以上まで回復可能であることを確認している。

3.2 L型CFRP板補強

L型CFRP板補強の施工例をFig. 4, Photo 3に示す。本工法は、数組のL型CFRP板(Photo 4)を梁の両側面から接着して貼り合わせてU型に梁下部を拘束し、さらに鋼製

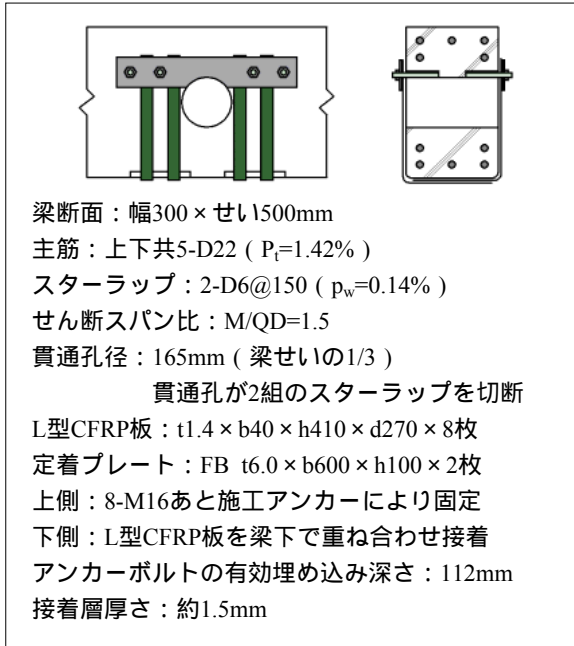


Fig. 4 L型CFRP板補強の例 (B15-CFRP試験体¹⁾)
Example of L-Shaped CFRP Plate Strengthening Method



Photo 3 補強状況 View of Strengthening Portion
Photo 4 L型CFRP板 L-Shaped CFRP Plate

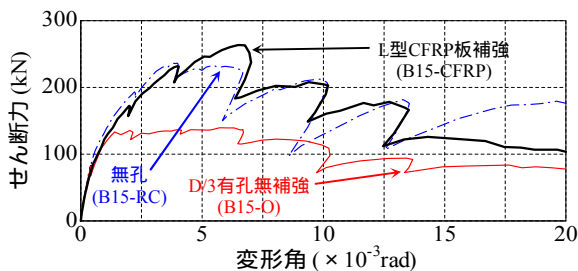


Fig. 5 L型CFRP板補強の静的加力実験結果
Test Result of L-Shaped CFRP Plate

の定着プレートとアンカーボルトによってCFRP板の上部を定着固定する方法である。CFRP板は、高強度、薄く軽量という優れた特徴をもつ。

アンカーボルトは、接着系のあと施工アンカーまたは貫通ボルトを使用する。

梁下部のコーナー部には、予め手すり等によりコンクリートの面取り加工を行う。

接着には、粘性が高い塗布型のエポキシ樹脂系接着剤を使用する。このため、上部作業の際にも接着剤の液だれにより周囲を汚す問題が生じにくい。また、CFRP板は軽量であり施工性が良好である。さらに、貫通孔に先に配管を通し、後から補強施工を行うことが可能であり、施工工程の自由度が高いという利点がある。

実験結果¹⁾のせん断力 - 変形関係の包絡線をFig. 5に示す。梁せいの1/3の直径の貫通孔を設けても、無孔時と同等以上までせん断耐力を回復できることを確認している。

3.3 鋼管補強

鋼管補強の施工例をFig. 6, Photo 5に示す。鋼管補強は、貫通孔の内側に鋼管を挿入接着する補強工法である。本工法は、補強部材の数や工程が少ないため、短工期、低コストで補強できることが特長である。ただし、貫通

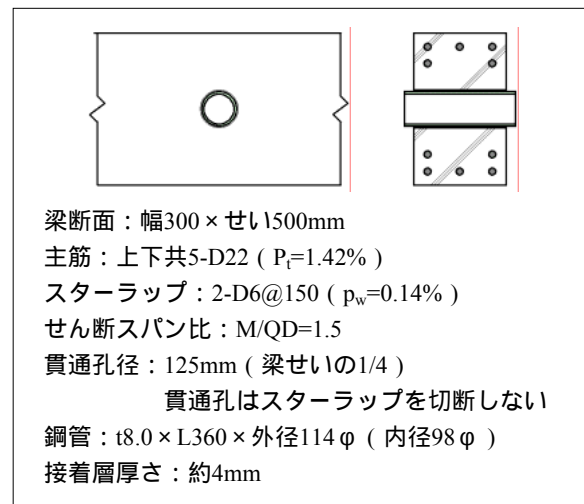


Fig. 6 鋼管補強の例 (B15-PI2試験体¹⁾)
Example of Steel Pipe Strengthening Method



Photo 5 補強状況 View of Strengthening Portion
Photo 6 鋼管 Steel Pipe

孔の径が大きく、既存のせん断補強筋を切断してしまう場合など、要求される補強量が大きい場合には不向きである。また鋼管の肉厚により、補強後の貫通孔の有効径が小さくなる点に留意する必要がある。

鋼管の接着面は、付着性を高めるためショットブラスト掛け等の処理を行っておく。接着にはエポキシ樹脂系の接着剤を使用し、鋼管と貫通孔の隙間をシール材で塞いだ後に、鋼管とコンクリートの間に接着材を注入する。

実験¹⁾で得られたせん断力 - 変形関係の包絡線をFig. 7に示す。孔径が梁せいの1/4の貫通孔に対しては、無孔時とほぼ同程度まで耐力を回復できることを確認している。

4. 補強時のせん断耐力評価式の提案

本工法によりRC梁の新設貫通孔を補強した場合の補強部分のせん断終局耐力を算定するため、次の評価式を提案した。本評価式は、文献⁵⁾の有孔RC梁のせん断終局耐力算定式をベースに、本工法の補強効果を考慮して作成している。

4.1 折り曲げ鋼板補強 (Fig. 8)

折り曲げ鋼板補強時のせん断終局耐力評価式を(1)～(2)式に示す。

$$Q_{\text{suo_st}} = \left\{ \frac{0.092 k_u k_p (F_c + 18)}{M/Qd + 0.12} (1 - 1.61 H/D) + 0.85 \sqrt{(P_s \sigma_y)} \right\} b j + Q_{\text{PL}} \quad (1)$$

$$Q_{\text{PL}} = n_{\text{PL}} \alpha \tau_{\text{bond}} a_{\text{bond_S}} \quad (2)$$

ここに、

$Q_{\text{suo_st}}$: 貫通孔補強時の補強部分のせん断終局耐力 (N)

k_u : $d = 400\text{mm}$ のとき0.72

d : 有効せい (mm)

k_p : $2.36 P_t^{0.23}$

P_t : 引張鉄筋比 (小数値)

F_c : コンクリート強度 (N/mm²)

M/Qd : せん断スパン比 (3以上は3, 1以下は1とする)

H : 貫通孔直径 (mm) ($D/3$ を上限とする)

D : 梁せい (mm)

P_s : 孔周辺のせん断補強筋比 (原則として、孔中心から斜め45度の範囲を横切るせん断補強筋量から評価)

σ_y : 孔周辺のせん断補強筋の降伏強度 (N/mm²)

b : 梁幅 (mm)

j : 応力中心距離 (mm)

Q_{PL} : 折り曲げ鋼板による耐力増加分 (N)

n_{PL} : 鋼板の枚数

α : 接着に関する低減係数

τ_{bond} : 接着剤とコンクリートのせん断接着強度 (N/mm²)

$a_{\text{bond_S}}$: 梁側面における鋼板の有効接着面積 (mm²) (Fig. 8)

ϕ : 想定破壊面の角度 (rad)

なお、梁下における接着面積、鋼板厚さ、アンカーボルトに関しては、簡略的検討として次の条件を満足すれば

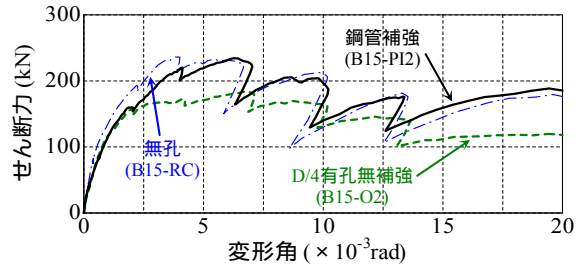


Fig. 7 鋼管補強の静的加力実験結果
Test Result of Steel Pipe

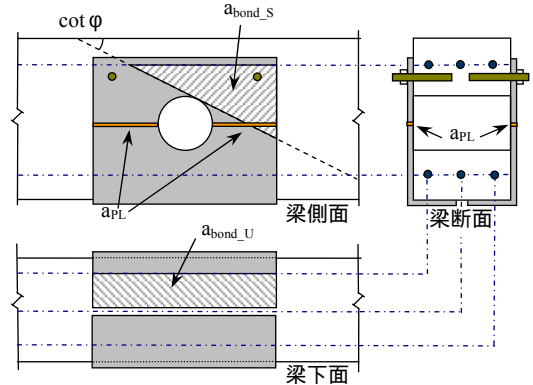


Fig. 8 有効接着面積の評価 (折り曲げ鋼板補強)
Evaluation of Effective Bond Area (Bending Steel Plate)

詳細な検討を省略してよいものとする。

$$Q_{\text{bolt}} = 1/2 Q_{\text{PL}}$$

$$n_{\text{PL}} a_{\text{PL}} \sigma_{\text{PL}} = Q_{\text{PL}}$$

$$a_{\text{bond_U}} = a_{\text{bond_S}}$$

ここに、

Q_{bolt} : 有効接着面積の範囲内のアンカーボルト負担力 (N)

$$Q_{\text{bolt}} = \min (Q_{\text{bolt1}}, Q_{\text{bolt2}})$$

$$Q_{\text{bolt1}} = (\sigma_{\text{bolt}} / \sqrt{3}) a_{\text{bolt}} n_{\text{bolt}}$$

$$Q_{\text{bolt2}} = 0.4 a_{\text{bolt}} \{ 0.0981 \sqrt{(E_c F_c)} \} n_{\text{bolt}}$$

σ_{bolt} : アンカーボルトの引張降伏強度 (N/mm²)

a_{bolt} : アンカーボルトの有効断面積 (mm²)

n_{bolt} : 有効接着面積内のアンカーボルト本数

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

a_{PL} : 鋼板の有効引張断面積 (mm²) (Fig. 8)

σ_{PL} : 鋼板の降伏強度 (N/mm²)

$a_{\text{bond_U}}$: 梁下面における有効接着面積 (mm²) (Fig. 8)

また、アンカーボルトの有効埋め込み深さ L_e は、原則として $7d_{\text{bolt}}$ 以上とする⁶⁾。ただし貫通ボルトを使用する場合には、 L_e が $7d_{\text{bolt}}$ 以下でもよいものとする。

d_{bolt} : アンカーボルトの呼び名、または有効径 (mm)

鋼板補強時のせん断終局耐力については、有孔無補強のRC梁として算定したせん断終局耐力に、鋼板接着による負担力を加算して扱うこととする。

このとき、鋼板接着による負担力については、鋼板接着による耐力向上効果は接着面積に比例する傾向が示されている³⁾ことから、ここでは実験¹⁾でB15-PLL試験体が

最大耐力に達した際の接着部分の破壊状況に基づいて、Fig. 8に示すような三角形の面積として a_{bond_S} を算定することとする。

接着時のせん断応力については、アンカーボルトと接着の併用時におけるせん断応力の評価式が提案されている⁷⁾が、接着併用時のアンカーボルトの寄与については未だ不明な点が多く、通常は接着部の脆性的破壊がアンカーボルトのせん断降伏よりも先行して生じるため、ここではアンカーボルトの効果は接着応力には考慮せず、算定上は余力として扱うこととする。

4.2 L型CFRP板補強 (Fig. 9)

L型CFRP板補強時のせん断終局耐力評価式を(3)~(6)式に示す。

$$Q_{suo_st} = \left\{ \frac{0.092 k_u k_p (F_c + 18)}{M/Qd + 0.12} (1 - 1.61 H/D) + 0.85 \sqrt{P_s \sigma_y + (Q_{CFRP} / b L_\phi)} \right\} b j \quad (3)$$

$$Q_{CFRP} = \min(n_{CFRP} N_{CFRP}, Q_{bond_CFRP}, Q_{bolt} + Q_{bond_FB}) \quad (4)$$

$$Q_{bond_CFRP} = n_{CFRP} (\tau_{bond_CON} + \tau_{bond_STEEL}) a_{bond_CFRP} \quad (5)$$

$$Q_{bond_FB} = n_{FB} \tau_{bond_CON} (a_{bond_FB} + a_{bond_CFRP}) \quad (6)$$

ここに、

Q_{CFRP} : L型CFRP板の負担力 (N)

L_ϕ : 想定破壊区間の梁軸方向の長さ (mm) (Fig. 9)

n_{CFRP} : 想定破壊面を横断するL型CFRP板の枚数

N_{CFRP} : CFRP板1枚あたりの有効引張荷重 (N)

Q_{bond_CFRP} : L型CFRP板の上側定着部における接着力 (N)

Q_{bond_FB} : 定着プレートの梁側面に対する接着力 (N)

τ_{bond_CON} : CFRP板とコンクリートの接着強度 (N/mm²)

τ_{bond_STEEL} : CFRP板と定着プレートの接着強度 (N/mm²)

a_{bond_CFRP} : CFRP板の定着部の有効接着面積 (mm²) (Fig. 9)

n_{FB} : 定着プレートの枚数 (mm²)

a_{bond_FB} : 定着プレートの有効接着面積 (mm²) (Fig. 9)

L型CFRP板補強時のせん断耐力については、U型に構成されたCFRP板が通常のスターラップと同様のせん断補強効果を発揮するものと考え、(3)式におけるせん断補強筋の項にCFRP板の負担分を取り入れて扱うことで補強効果を評価することとする。

4.3 鋼管補強 (Fig.10)

鋼管補強時のせん断耐力評価式を(7)~(8)式に示す。

$$Q_{suo_st} = \left\{ \frac{0.092 k_u k_p (F_c + 18)}{M/Qd + 0.12} (1 - 1.61 H/D) + 0.85 \sqrt{P_s \sigma_y} \right\} b j + Q_{PI} \quad (7)$$

$$Q_{PI} = \sigma_{bond} \Phi_{PI} (\theta / 360) b \quad (8)$$

ここに、

Q_{PI} : 鋼管による耐力増加分 (N)

σ_{bond} : 接着剤とコンクリートの引張接着強度 (N/mm²)

Φ_{PI} : 鋼管の外周長 (mm)

θ : 鋼管の有効接着面積の孔中心からの角度 (度) (Fig.10)

なお、鋼管肉厚は原則として鋼管外径の1/15以上とする。

鋼管補強時の荷重伝達機構は、鋼管外周部の接着による引張抵抗作用と、鋼管による圧縮抵抗作用が混在するものと推察されるが、その影響は複雑であり精密な評価は困難である。そこでここでは、評価式の簡略化をはかるために接着による引張抵抗作用のみを評価式に取り入れ、圧縮抵抗作用については、十分な鋼管の剛性を確保するために鋼管肉厚を鋼管外径の1/15以上とするよう定めることにより考慮することとする。

4.4 耐力評価式による算定値と実験値の比較

これらの評価式により、実験で使用したB15シリーズ試験体¹⁾ (B15-O, B15-O2, B15-PLL, B15-CFRP, B15-PI, B15-PI2) についてのせん断終局耐力を算定した。

このとき、折り曲げ鋼板補強については、想定破壊面の角度 $\cot \phi$ および接着面積の低減係数 α を、実験¹⁾で得られた試験体B15-PL, B15-PLLのひび割れ状況と接着部分の破壊状況に基づいて定め、 $\cot \phi = 2.0$, $\alpha = 0.7$ とした。また接着時のせん断応力については、文献⁷⁾におけるコンクリート部分のせん断強度の下限側評価にあたる $\tau_{bond} = 0.08F_c$ を採用することとした。

L型CFRP板補強では、接着剤の強度について、文献⁸⁾に示される接着剤のコンクリートおよび鋼材に対する接着強さの各下限値を用い、 $\tau_{bond_CON} = 2N/mm^2$, $\tau_{bond_STEEL} = 9.8N/mm^2$ とした。また N_{CFRP} は、CFRP板メーカーの実施した引張試験結果の下限値である126kNとした。 $\cot \phi$ については、 $\cot \phi = 1.0$ ($\phi = 45^\circ$)とした。

鋼管補強では、接着部分の引張接着強度 σ_{bond} は、コンクリートの引張強度として一般的に用いられる $0.1F_c$ とした。また鋼管の有効接着面積を決定する θ は、実験¹⁾におけるB15-PI, B15-PI2試験体の孔周辺の破壊状況に基づいて定め $\theta = 45^\circ$ とした。

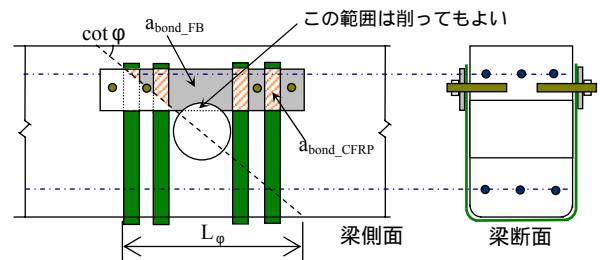


Fig. 9 有効接着面積の評価 (L型CFRP板補強)
Evaluation of Effective Bond Area (L-Shaped CFRP Plate)

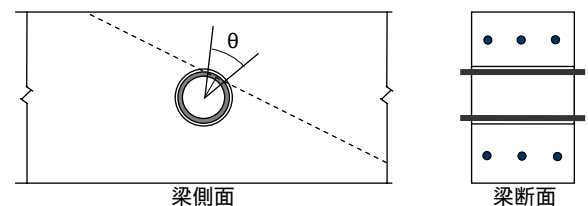


Fig. 10 有効接着面積の評価 (鋼管補強)
Evaluation of Effective Bond Area (Steel Pipe)

なお、D/3有孔試験体における(1)式、(3)式、(7)式の P_s の評価については、文献¹⁾で述べているように、有孔無補強試験体(B15-O)の孔周辺のひび割れ・破壊状況に基づき、ひび割れ面の角度を37度として P_s を与えてせん断終局耐力を算定している。

算定したせん断終局耐力と実験結果との比較をFig. 11に示す。算定値は実験結果に対して安全側に分布し、かつ乖離が80%以内の範囲に収まっており、本評価式は実用に耐えうる十分な精度を有しているといえる。

4.5 その他の事項

1) 補強設計の目標

補強設計の目標として、a)貫通孔を設ける前と同等レベルまで貫通孔周辺のせん断耐力を回復させる、b)貫通孔を含む梁全体のせん断耐力をあるレベル(例えば現行基準レベル)まで回復させる、の2ケースが主に考えられる。b)のケースでは、折り曲げ鋼板補強またはL型CFRP板補強により貫通孔周辺を補強することで、非補強部のせん断耐力も向上する効果¹⁾を考慮してよいものとする。

2) SRC梁の取り扱い

SRC梁については、本評価式をSRC梁のRC部分のせん断耐力の評価に準用してよいものとする。

3) 貫通孔の大きさ、複数貫通孔の間隔

貫通孔の直径は、原則として梁せいの1/3以下とする。同じの梁に複数の貫通孔を設ける場合には、孔と孔の中心間距離を、原則として径が大きい方の貫通孔直径の3倍以上離すこととする。

4) 梁端部ヒンジ領域への適用

梁端部ヒンジ領域への貫通孔の設置は避けることが望ましい。鋼管補強については、原則としてヒンジ領域への適用は避けることとする。

5) スラブの影響

実際の梁にはスラブが取り付けが多く、その影響によりスラブ付きT形梁のせん断耐力等の構造性能は、矩形断面梁と比べて一般に向上するものと考えられる。しかし現状では、スラブの影響を適切に評価可能な段階には至っていないため、現時点では評価式においてスラブ

の効果については取り扱わないこととする。

5. まとめ

本報で述べた内容を以下にまとめる。

- 1) 設備リニューアル工事においてニーズの多い、既存コンクリート梁の新設貫通孔に対する補強工法(折り曲げ鋼板補強、L型CFRP板補強、鋼管補強)を開発した。
- 2) 本工法は、リニューアル工事において要求される、低騒音・低振動・無溶接・低粉塵などの諸条件を満たしている。さらに、短工期・低コスト・施工性良好という特長を有しており、リニューアル工事に適した工法である。
- 3) 本工法を施すことで無孔時と同等以上のせん断耐力まで回復可能であり、十分な補強効果を発揮することを実験により確認した。
- 4) 本工法による補強時のせん断終局耐力の評価式を提案した。また、算定値と実験結果との比較により、本評価式が十分な精度を有することを確認した。

本工法の適用により、リニューアル工事における自由度が拡大するものと考えられ、今後の活用が期待される。

謝 辞

L型CFRP板補強の実験にあたり、日本シーカ(株)から補強材料を提供頂きました。ここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 白井和貴，勝俣英雄，古屋則之，木村耕三，関松太郎：既存鉄筋コンクリート梁の新設貫通孔補強に対する補強効果に関する研究，大林組技術研究所報No.68，2004
- 2) 蔦壁潤一郎，安岡威，勝俣英雄，田才晃：既存T形梁の新設貫通孔に対する補強効果に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，第26巻，pp.349～354，2004
- 3) 山崎和宏，蔦壁潤一郎，白井和貴，田才晃：貫通孔を有するコンクリート要素の補強効果に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，第26巻，pp.355～360，2004
- 4) 株式会社呉英製作所：強制吸塵システム無塵サンダーぼれる，リーフレット
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説1999，pp.271-272，1999
- 6) 日本建築防災協会：2001年改訂版 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針 同解説，pp.259-290，2001
- 7) 小宮敏明，益尾潔：鉄骨増設ブレース補強用の接着接合部および間接接合部の終局耐力：コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.1657-1662，2000
- 8) 東レ株式会社，日本シーカ株式会社：トレカラミネート工法設計・施工マニュアル，1998
- 9) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，pp.177-217，1985

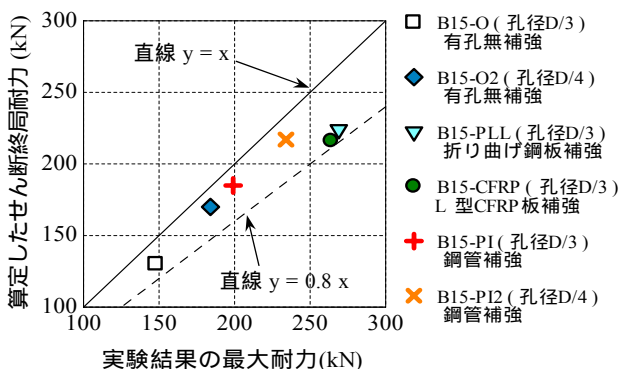


Fig. 11 提案式による算定値と実験値の比較
Comparison of Calculated Value and Test Result