

鋼管と炭素繊維シートによる既存梁開孔部の補強  
—プリズム形試験体による圧縮実験—

梁 鉄筋コンクリート 開孔補強  
既存建築物 炭素繊維シート 鋼管

正会員 ○中村 洋行\*1 同 福山 洋\*2  
同 藤本 効\*3 同 浅野 芳伸\*4  
同 高橋 茂治\*5 同 加藤 貴久\*6  
同 鈴木 英之\*7 同 上田 正生\*8

1.はじめに

既存建築物の有効利用の観点から、建築物の改修に伴う用途変更、いわゆるコンバージョンが進められている。その際、設備機器のリニューアルに伴い、鉄筋コンクリート造の既存梁への開孔を要求されることがある。既存梁にコアカッター等で開孔を設けることで梁の断面が欠損し、場合によってはあばら筋の一部を切断するため、梁のせん断性状が著しく低下することとなる。現在、コンバージョンの対象となる建築物は、建設された年代を考慮すれば耐震性の観点からも補強が必要であることが多く、耐震補強と同時に開孔部の補強を行う必要がある。しかし、施工性を考慮した効果的な補強方法の提案は少なく、またその補強効果も明確でない。本報では炭素繊維シート（以下CFシート）と鋼管を使用した梁開孔部の補強方法を提案する。

2.開孔部周囲の抵抗機構

図1に対角方向に圧縮力を受けるコンクリートブロックを示す。ここで形成される圧縮束は、梁のせん断抵抗機構であるアーチ機構あるいはトラス機構を成立させるためのものであり、実際の梁においては外力、あるいは主筋とあばら筋の引張力と釣り合う要素である。

同図aは無開孔の場合であり、四角形に作用する外力に対して対角線をつぶコンクリートの圧縮束が釣り合う。この斜め圧縮束が通る所に開孔を設けた例を同図bに示す。この時、コンクリートの圧縮束は開孔部の周囲を迂回するように屈折すると考えられる。この機構を成立させるためには開孔周りの4辺に引張補強材が必要となる。ここで使用するCFシートは、その引張強度を十分に発揮するために、躯体へ確実に定着させる必要がある。

3.鋼管による開孔補強

CFシートによる補強量が多く、かつコンクリート強度が低い場合は、開孔部周囲のコンクリートの圧縮強度で耐力が決定される。図1cに示すように開孔部に鋼管を入

れると圧縮束の一部は屈折せずに、鋼管に直接伝わる。

図2に鋼管に形成される降伏線の仮定を示す。ここに示したのは鋼管の断面であり、実際には鋼管の長さ方向に降伏線が形成されているものとする。同図aは水平方向の拘束が無い場合である。円周上に4箇所の降伏線を仮定すると、鋼管を横圧縮した時の降伏荷重は降伏線理論により式(1)で表される。

$$P_1 = \frac{2L \cdot t^2 \cdot \sigma}{3r} \quad (1)$$

L: 鋼管長, t: 鋼管厚さ  
r: 鋼管半径, σ: 降伏強度

一方、図1cに示したように開孔に鋼管を入れた場合、鋼管の周囲はコンクリートで拘束される。鋼管周囲のコンクリートに割裂ひび割れが発生すると拘束力は開放されるが、開孔の周囲をCFシートで補強した場合はひび割れ発生後も拘束力を期待できる。図2bに示すように水平方向の変位を拘束し、8箇所の降伏線が形成されると仮定すると、横拘束された鋼管の降伏強度は式(2)で表される。

$$P_2 = \frac{4\sqrt{2}L \cdot t^2 \cdot \sigma}{3r} \quad (2)$$

式(1)と式(2)より、水平方向を拘束した時の降伏荷重 P2 は P1 の 2.83 倍となる。実際にはコンクリートと鋼管は面で接しているため、明確な降伏線を定義するのは困難であるが、鋼管周囲のコンクリートをCFシートで拘束することによって、効果的な開孔補強の可能性が示された。

4.プリズム形試験体による実験

CFシートと鋼管による開孔部の補強効果を確認する目的で簡易なプリズム形試験体を用いた圧縮試験を行った。

4.1 試験体 図3に試験体形状図、表1に試験体一覧を示す。試験体は対角部分の加力部を面取りしたプリズム形とした。PNNNが無開孔、PCNNが中央に60φの開孔を設けたもの、PCNSsは外径60φ厚さ3.7mmの鋼管を入れたもの、PCNSLは外径76φ厚さ3.8mmの鋼管を入れたもの、PCFSSはPCNSsと同じ鋼管を入れ、開孔の周囲にCF

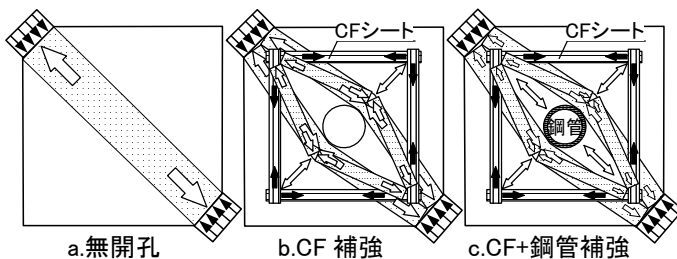


図1 開孔の有無による圧縮束の変化

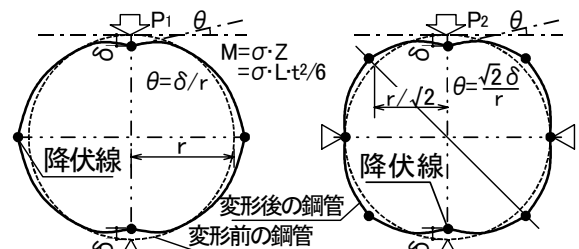


図2 降伏線の仮定

Strengthening for Perforated Beam Using Steel Pipe and Carbon Fiber Sheets

— The compression test of prismatic specimens —

NAKAMURA Hiroyuki, FUKUYAMA Hiroshi, FUJIMOTO Isao, ASANO Yoshinobu, TAKAHASHI Shigeharu, KATOH Takahisa, SUZUKI Hideyuki and UEDA Masaiki

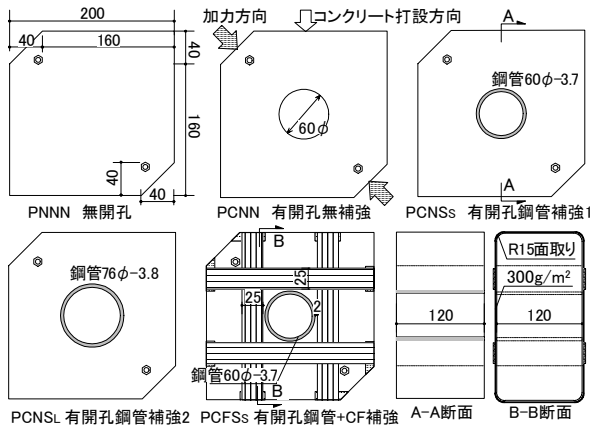


図3 プリズム試験体形状図

表1 試験体一覧と実験結果

プリズム試験体	開孔	鋼管	炭素繊維	ひび割れ	最大荷重	鋼管試験体	鋼管	弾性限界	最大荷重
PNNN	無	無	無	178kN	207kN	K60	60φ-3.7	12.3kN	22.7kN
PCNN	有	無	無	63.6kN	63.6kN	K76	76φ-3.8	13.0kN	20.1kN
PCNSs	有	60φ-3.7	無	65.6kN	79.4kN	コンクリート 圧縮強度24.7N/mm <sup>2</sup>			
PCNSL	有	76φ-3.8	無	43.1kN	52.1kN	CFシート 保証強度3400N/mm <sup>2</sup>			
PCFSS	有	60φ-3.7	有	70.3kN	120kN	厚さ0.167mm(カタログ値)			

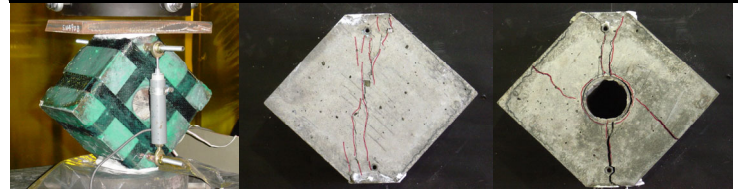


写真1 実験風景とひび割れ状況(中 PNNN, 右 PCNSs)

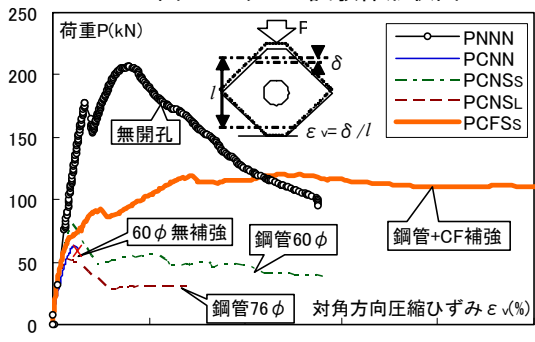


図4 荷重—対角方向圧縮ひずみ関係

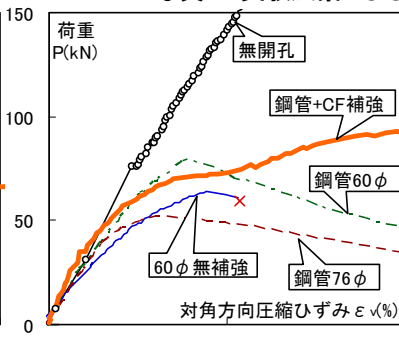


図5 同拡大図

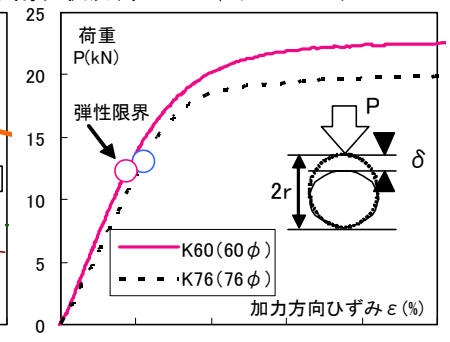


図6 鋼管の横圧縮試験結果

シートを井形に巻き付けた試験体である。K60 と K76 は鋼管であり、それぞれ PCNSs, PCNSL に使用した鋼管と同寸法である。

**4.2 加力・計測** プリズム形試験体の加力は 5000kN 圧縮試験機を用いて、面取りされた部分を対角方向に単調圧縮载荷した。K60 と K76 は鋼管を横に寝かせ、単調圧縮载荷した。計測は圧縮方向の変位と CF シート表面のひずみとした。

## 5.実験結果

図4 に荷重—対角方向圧縮ひずみ関係、図5 に同じく微小変形時の拡大図を示す。ここで、横軸は加力方向の変位を計測点間距離で除した値とした。写真1 にひび割れ状況の一例を示す。

無開孔の PNNN は 178kN でひび割れが発生し荷重が低下したが、その後変形と共に荷重が増加し最大耐力は 207kN(圧縮ひずみ 0.16%)だった。有開孔無補強の PCNN は 63.6kN で加力点を結ぶひび割れと、加力方向に対して 45° 方向のひび割れが入ると同時に破壊に至った。鋼管を入れた PCNSs は PCNN と比較して剛性が高く、ほぼ同じ荷重でひび割れが生じた。最大荷重は PCNN より、15.8kN 高く、ピーク後は緩やかに荷重が低下した。PCNSL は開孔が大きいため、ひび割れ荷重と最大荷重が低いが、PCNSs と同様な経過を示した。PCFSS は PCNSs が最大荷重を迎えた 0.04%までは、ほぼ同じ経過を示した

が、その後、CF シートの引張ひずみが大きくなり、変形が進むにつれ徐々に荷重が増加した。最大荷重時には開孔周囲の CF シートのひずみはいずれも 3000~4000μ であった。最大荷重後の荷重低下は少なく圧縮ひずみ 1.5% まで最大荷重の約 90%を保持しつづけた。鋼管は明らかに塑性変形していたが、鋼管とコンクリート間には隙間が見られず、鋼管が周囲のコンクリートと CF シートによって横拘束された。

図6 に鋼管の横圧縮試験結果を示す。弾性限界は K60 が 12.3kN, K76 が 13.0kN であり、その後、徐々に剛性が低下しつつ最大荷重は弾性限界の 1.5~1.8 倍以上となった。PCNSs と PCNN の耐力差が鋼管の降伏強度に近い値であるが、内蔵された鋼管は降伏強度に至るほど変形していなかった。PCFSS と PCNN の荷重差は 56.4kN である。図6 より K60 の降伏荷重を 20kN 程度とすれば、これに前述の水平方向を拘束した鋼管の強度上昇率の 2.83 倍を乗じた値と、PCFSS の荷重増加分が近い値であることがわかる。実際には鋼管の拘束条件や CF シートだけによる耐力の増加分等、不明な点が残されているが、鋼管と CF シートによる開孔部補強の有効性が実験により確認された。

**6.まとめ** 既存梁に後施工で開孔を設けた際の補強方法として、鋼管と CF シートを併用した工法を提案した。また、簡易な実験により鋼管および CF シートによる補強効果を確認した。

\*1 コンステック \*2 建築研究所 工博  
 \*3 ベターリビング 工博 \*4 奥村組  
 \*5 川口テクノソリューション \*6 三菱化学産資  
 \*7 安藤建設 工博 \*8 北海道大学院教授 工博

\*1 Constec Engineering \*2 Building Research Institute, Dr.Eng  
 \*3 Center for Better Living, Dr.Eng \*4 Okumura Corporation  
 \*5 Kawaguchi Techno Solution \*6 Mitsubishi Chemical Functional Products  
 \*7 ANDO Corporation, Dr.Eng \*8 Professor, Hokkaido Univ., Dr.Eng