

リニューアル工事で使用可能な RC 梁への開口新設技術

渋市克彦 米澤健次

New Opening Reinforcement Method for Existing RC Beams in Renewal

Katsuhiko Shibuichi Kenji Yonezawa

Abstract

We are advancing the development of a method for installing openings in existing RC beams, which can be widely used not only for seismic reinforcement but also for other renewals. This method aims to restore the structural performance of a beam to match that of a non-open beam by reinforcing it with new openings. There are two variations of the reinforcement method: "Reinforcement of flanged steel tube with brim" and "Reinforcement of bolt to be mounted outside." Experiments were conducted to verify the effects of each type of reinforcement. It was shown that the structural performance of a beam with a new opening can be restored to be equivalent to that of a non-open beam.

概要

耐震改修促進法の枠組みで行われる耐震補強以外のリニューアル工事でも広く使用可能な、既存鉄筋コンクリート梁への開口新設工法の開発を進めている。本工法では、開口を新設した梁に補強を施すことによって、無孔梁と同等の構造性能を確保することを目指す。補強方法としては、「鍔付き鋼管補強」と「外付けボルト補強」の2つのバリエーションがあり、それぞれ実験で補強効果を確認した。実験結果より、開口の新設によってせん断補強筋を切断しない場合は鍔付き鋼管補強によって、せん断補強筋を切断する場合は鍔付き鋼管補強と外付けボルト補強の組み合わせによって、開口を新設した梁の構造性能を無孔梁と同等以上に回復させられることを確認した。

1. はじめに

近年、既存ストックの有効利用が社会的課題であり、古い建物をリニューアルして再利用するニーズが高まっている。ここで、鉄筋コンクリート（以下、RC）造建物のリニューアル工事においては、既存 RC 梁に開口を新設できれば、設備配管を更新するにあたって非常に便利であるが、開口新設によって低下する梁の構造性能を回復させる技術が併せて必要となる。しかしながら、既往の新設開口に対する補強技術としては、文献¹⁾に例示されているように、あと施工アンカーやエポキシ樹脂などを用いた耐震改修工事を前提とした技術しかないので現状である。これらは使用材料の問題から、耐震改修促進法の枠組み外で適用するのは極めてハードルが高い。

そこで筆者らは、指定建築材料と、モルタルなど新築建物においても使用のハードルが低い材料のみを用いた開口補強技術を開発した。本技術により、耐震改修促進法の枠組みにとらわれることなく、様々なリニューアル工事において、既存 RC 梁への開口新設が可能になる。

本論文では、技術の概要と、開発にあたって実施した実験結果を示す。

2. 技術の概要

本技術は、周囲に補強を施すことによって、既存 RC 梁に内径が梁せいの 1/4 以下かつ 200mm 以下であるような開口を新設する技術であり、開口の新設によるコンクリート欠損に対する補強である「鍔（ツバ）付き鋼管補強」と、開口新設でコア抜きをする際にせん断補強筋を切断した場合の補強である「外付けボルト補強」により構成される。せん断補強筋の切断を伴わない開口新設の場合は鍔付き鋼管のみによって、せん断補強筋の切断を伴う開口新設の場合は、鍔付き鋼管と外付けボルトの組み合わせによって補強を施す。

鍔付き鋼管補強の概要を Fig. 1 に示す。鍔付き鋼管補強は、鋼管、鍔、面外拘束ボルトの要素からなる同一形状の補強パーツを 2 つ用意し、梁の両側から挿入し、組み合わせて用いる。それぞれの補強パーツは、梁幅の約半分の長さの鋼管に、1 枚の鍔および 1 本の面外拘束ボルトを溶接したものである。鋼管はコンクリート欠損によって損なわれた圧縮伝達力を補い、鍔は圧縮力を受けた鋼管が変形するのを補剛するためのものである。既存 RC 梁に削孔した孔と鋼管外周の間には 15~20mm 程度のクリアランスを設け、その空隙には無収縮モルタルを充填する。面外拘束ボルトは、鋼管外周部に全ねじボルトを溶接したものであり、対となる補強パーツと接合する機能のほか、無収縮モルタル打設時のスペーサーとしての機能も果たす。なお、鍔には鋼板外周部に沿って 2

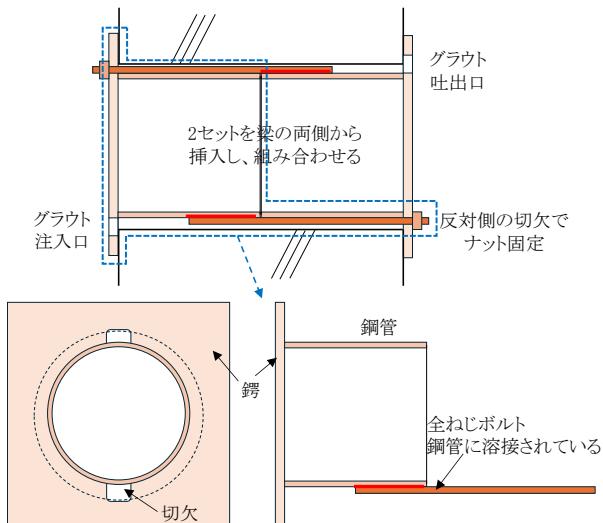


Fig. 1 鎖付き鋼管補強の概要 Outline of Flanged Steel Tube

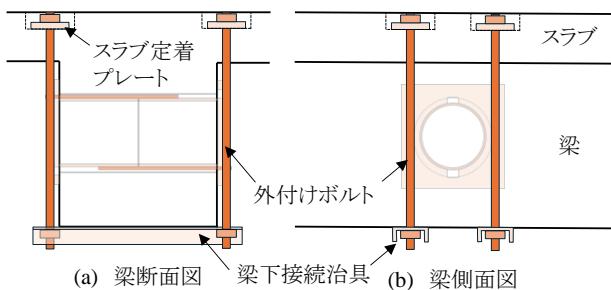


Fig. 2 外付けボルト補強の概要
Outline of Bolt to be Mounted Outside

か所の孔（切欠）が設けられており、面外拘束ボルトを通すため、または空隙に無収縮モルタルを打設する際に注入口および吐出口として用いる。

外付けボルト補強の概要を Fig. 2 に示す。開口の新設によって既存 RC 梁のせん断補強筋を切断すると、トラス機構における引張抵抗機構が損なわれてせん断耐力が低下するが、鍔付き鋼管補強ではこのような引張抵抗機構の欠損を補うことが出来ない。そこで、せん断補強筋を切断する場合には、鍔付き鋼管補強に加えて、外付けボルト補強を施す。本補強は、開口の新設によって切断されたせん断補強筋の代替として、梁の外側に 4 本（開口の両側、および梁の両側）の全ねじボルトを配置する補強方法である。それぞれのボルトは、梁上部においてはスラブを貫通し、スラブ定着プレートにより定着される。一方梁下部においては、梁両側のボルトを接続する梁下接続治具により定着される。梁下接続治具には外付けボルトの引張力に対して変形しにくいよう、剛性の高いチャンネル材を用いる。

3. 実験シリーズ I

3.1 実験シリーズ I の概要

Table 1 実験パラメータ

Experimental Parameters

試験体名	RC	O	St1	St2	St3
開口径	—		鋼管の内径がD/4		
せん断補強筋の切断	—		1組(2本)		
補強	—	鋼管	鍔付き鋼管	リング鋼管	

Table 2 試験体諸元
Test Specimen Specifications

		実大	試験体
断面B×D		500mm×800mm	250mm×420mm
主筋	上下5-D32 (SD490)	上下4+2-D16 (SD490)	
せん断補強筋	2-D13×250 (SD295) $p_w = 0.002$	2-D6×125 (SD296) $p_w = 0.002$	
内法スパン	3200mm	1680mm	
目標コンクリート強度		27N/mm ²	
開口/ 補強	CON削孔径	246mm程度	—
	グラウト厚さ	15mm程度	—
	钢管外径	216.3mm	114.3mm
	钢管内径	199.9mm	105.3mm
	鍔寸法	□320mm×320mm	□160mm×160mm
	鍔厚さ	9.0mm	4.5mm

実験シリーズ I では、開口の新設によって1組のせん断補強筋が切断された場合、鋼管による補強でどの程度せん断耐力を回復させられるかを確認することを目的とした。試験体は実大の1/2を想定して寸法を定め、開口および補強の有無、補強方法をパラメータとして、いずれもせん断破壊が先行するように5体の試験体を計画した。実験パラメータをTable 1に、試験体諸元をTable 2に、試験体配筋の一例をFig. 3に、材料試験結果をTable 3に示す。なお、後述の実験結果において降伏の判定は、計測点のひずみがTable 3に示す降伏ひずみを超えた時点とした。

試験体RCは無孔RC梁で基準試験体となる。試験体Oは無補強の有孔RC梁であり、開口新設によってせん断補強筋が1組切断された状態を再現した。試験体St1, St2, St3は、Oと同様の有孔RC梁に補強を施した試験体である。このうち、St1は鋼管のみで補強した試験体、St2は鍔付き鋼管により補強した試験体、St3はリング鋼管で補強した試験体である。補強詳細をFig. 4に示す。鍔付き鋼管については前述の通りであるので、ここでは納まりの説明を割愛する。リング鋼管とは、鋼管を補剛するためのリング（鋼板をドーナツ形に加工したもの）を、溶接によって鋼管材軸方向に3か所取り付けたものである。鋼管は幅方向で分割されておらず、梁の片側から補強材を挿入する。

なお、実際の施工では削孔・鋼管設置の後にグラウト充填を想定しているが、試験体の製作においては予め当該箇所のせん断補強筋を1組除き、型枠に補強材料を設置した状態でコンクリートを打設し一体化した。

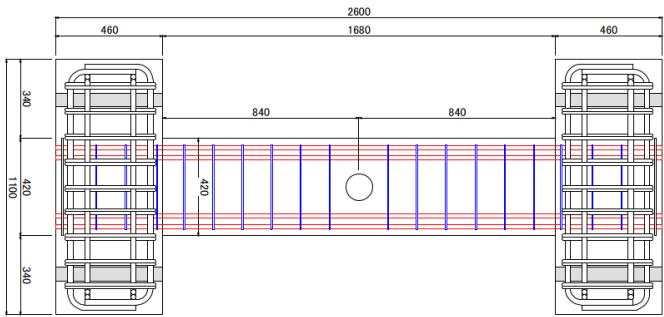


Fig. 3 試験体配筋の一例 (開口によりせん断補強筋1組除去)
Example of Reinforcing Bars for Test Specimens

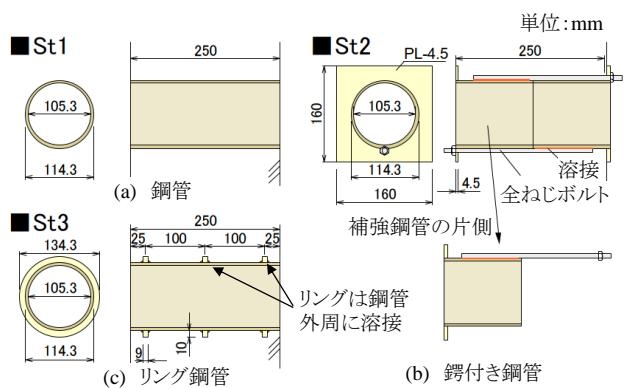


Fig. 4 補強の詳細

Details of Reinforcement

Table 3 材料試験結果

Material Test Results

(a) コンクリート

試験体	圧縮強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [N/mm ²]	圧縮強度時 ひずみ[μ]	割裂強度 [N/mm ²]	材齢 [日]
RC	29.4	24400	2130	2.6	28
O	29.5	24400	2030	3.0	33
St1	28.2	23500	2150	2.9	38
St2	31.2	26100	2100	2.7	41
St3	29.0	—	—	2.9	45

※現場封緘養生

(b) 鉄筋

鋼種	呼び名	降伏強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	降伏 ひずみ[μ]
SD295	D6	444	187000	556	2374
SD490	D16	552	186000	724	2968

強したSt2は、変形角1/133のサイクルで開口周辺のせん断補強筋が降伏し、変形角1/100のサイクルで最大耐力(+168.8kNおよび-168.0kN)に達した。最大耐力は鋼管のみで補強した試験体St1と比べて1割ほど大きいが、RCと比較すると87%であった。有孔梁をリング鋼管で補強したSt3は、変形角1/133のサイクルで開口周辺のせん断補強筋が降伏し、変形角1/100のサイクルで最大耐力(+159.8kNおよび-156.8kN)に達した。最大耐力はSt1と比べて5%ほど大きいが、RCと比較すると82%であった。いずれの補強試験体も、有孔梁に対して一定の補強効果は確認できたものの、無孔梁と同等まで構造性能を回復させることはできなかった。

イクルずつ繰り返した後、1/50radを1サイクルまで載荷を行うことを基本とした。ただし試験体OおよびSt1はコンクリートの損傷が顕著であったことや耐力が最大耐力の半分程度に低下したことを勘案して途中で載荷を終了した。

3.2 実験シリーズIの結果

各試験体におけるせん断力-変形角関係の包絡線の比較をFig.6に、破壊状況の代表としてSt2の最終破壊状況をPhoto 1に、最大耐力の比較をTable 4に示す。

無孔試験体RCは、変形角R=1/133のサイクルで補強筋の降伏がみられ、変形角R=1/100のサイクルで、部材端部のせん断ひび割れが拡幅し、最大耐力(+194.3kNおよび-193.5kN)に達した。その後のサイクルで耐力低下がみられた。

無補強の有孔試験体Oは、変形角1/200のサイクルの正載荷で開口周辺の補強筋が降伏し、最大耐力123kNに達し、変形角1/133のサイクルで負載荷側の最大耐力-136.5kNに達した。最大耐力は、RCの63%となった。

有孔梁を鋼管で補強したSt1は、変形角1/200のサイクルで補強筋が降伏し、変形角1/133のサイクルで最大耐力(+152.3kNおよび-150.0kN)に達した。鋼管補強の最大耐力は補強なしに比べて1割ほど大きく、Oでは変形角1/133のサイクルで耐力低下が生じたのに対しSt1では1/100のサイクルであり補強効果を確認できた一方で、最大耐力はRCの78%であった。有孔梁を鍔付き鋼管で補

3.3 実験シリーズIから得た知見

実験シリーズIより、以下の知見を得た。

- 1) いずれの補強方法を用いた場合でも、無補強の有孔試験体Oと比較して耐力は上昇し、補強効果は確認できた。しかしながら、いずれも最終的には開口周囲でせん断破壊が生じ、無孔試験体RCの最大耐力には及ばなかったことから、無孔梁と同等まで構造性能を回復させることはできなかった。これは、鋼管はコンクリートの欠損による圧縮力伝達の低下を補うことができる一方で、せん断補強筋切断に伴うせん断引張力の低下を補うことはできないためであると考えられる。
- 2) 補強方法としては、鍔付き鋼管を用いた場合が最も

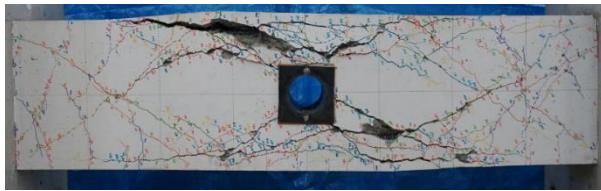


Photo 1 最終破壊状況(St2)
Final Destruction Status(St2)

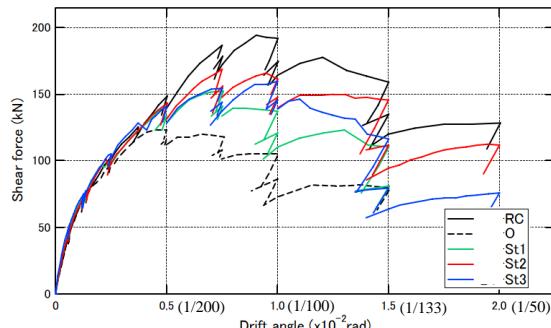


Fig. 6 せん断力-変形角関係の包絡線
Comparison of Skeletal Curves

Table 4 最大耐力の比較
Comparison of Maximum Load

試験体名	RC	O	St1	St2	St3
正側最大耐力[kN]	194.3	123.0	152.3	168.8	159.8
負側最大耐力[kN]	-193.5	-136.5	-150.0	-168.0	-156.8
RCに対する比率	—	0.63	0.78	0.87	0.82
Oに対する比率	—	—	1.24	1.37	1.30

補強効果が高かった。これは、鍔の補剛効果に加え、鍔付き鋼管を組み合わせる際に用いている面外拘束ボルトが、せん断力を受けた梁が膨らむのを拘束し、補強に寄与したためと考えられる。

4. 実験シリーズⅡ

4.1 実験シリーズⅡの概要

実験シリーズⅠの結果を受け、開口新設によるコンクリート欠損への補強としては、鍔付き鋼管補強を採用することとした。一方で、せん断補強筋の切断への補強として、新たに外付けボルト補強を考案した。実験シリーズⅡでは、(1) 開口新設によってせん断補強筋を切断しない場合は鍔付き鋼管のみによって、無孔梁と同等まで構造性能を回復できるか、(2) せん断補強筋を切断する場合は、鍔付き鋼管と後述の外付けボルト補強の組み合わせによって、無孔梁と同等まで構造性能を回復できるか、の2点を確認することを目的とした。

シリーズⅠの実験結果と比較するため、シリーズⅡにおける基本的な試験体諸元や配筋は、実験シリーズⅠを踏襲した (Table 2, Fig. 3参照)。シリーズⅡの実験パラメータをTable 5に、材料試験結果をTable 6に示す。なお、後述の実験結果において降伏の判定は、計測点のひずみがTable 6に示す降伏ひずみを超えた時点とした。

本シリーズでは、開口の有無、開口新設によるせん断

Table 5 実験パラメータ

Experimental Parameters

試験体	St4	St5	St7	St6	St8	RC2
開口	有孔	有孔	有孔	有孔	有孔	無孔
せん断補強筋の切断	なし	なし	1組	なし	なし	-----
b × D (mm)				250 × 420		
主筋	上下 4+2-D16 (SD490)			上下 4+4-D16 (SD490)		
せん断補強筋	2-D6@125, pw=0.002 (SD295)			4-D6@125, pw=0.0041 (SD295)		
内法スパン (mm)			1680 (せん断スパン比=2)			
目標コンクリート強度 (N/mm ²)		27			39	
補強部：鋼管	鍔付鋼管	鍔付鋼管	鍔付鋼管	鍔付鋼管	鍔付鋼管	-----
補強部：外付けボルト	なし	なし	4-M10	なし	4-M14	-----
開口径(mm)	114.3 (D/3.67)	76.3 (D/5.5)	114.3 (D/3.67)	114.3 (D/3.67)	114.3 (D/3.67)	-----

Table 6 材料試験結果

Material Test Results

(a) コンクリート

試験体	圧縮強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [N/mm ²]	圧縮強度時ひずみ [μ]	割裂強度 [N/mm ²]	材齢 [日]
RC2	40.0	30000	2350	3.5	53
St4	28.2	26700	2170	2.8	44
St5	29.7	27400	2070	2.8	48
St6	38.7	28200	2390	3.6	57
St7	29.2	26500	2110	2.3	61
St8	40.7	29100	2340	3.4	64

※現場封緘養生

(b) 鉄筋

鋼種	呼び名	降伏強度 [N/mm ²]	ヤング係数 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]	降伏ひずみ [μ]
SD295	D6	374	201000	493	1861
SD490	D16	556	195000	722	2851

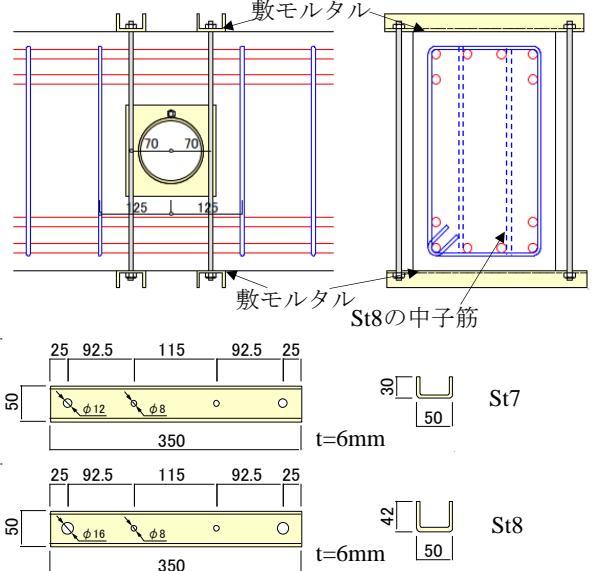


Fig. 7 補強の詳細

Details of Reinforcement

補強筋切断の有無、材料強度、開口径、外付けボルト補強の有無を変数として、いずれもせん断破壊となるよう6体の試験体を計画した。St4およびSt5は、シリーズⅠにおける無孔試験体RCに対し、せん断補強筋を切断しないように開口を設け、鍔付き鋼管で補強した試験体である。ここで、St5以外の補強試験体は、鋼管厚さや内径が

シリーズIと同様であるのに対し、St5は鋼管内径を梁せんの1/6まで小さくした代わりに鋼管厚さを薄くした試験体である。他試験体の鋼管厚さや鍔厚さが4.5mmであるのに対し、St5の鋼管厚さや鍔厚さは3.0mmである。一方St7は、シリーズIにおける有孔試験体と同様にせん断補強筋を1組切断した状況を再現し、鍔付き鋼管と外付けボルトによって補強した試験体である。

RC2, St6, St8は、シリーズIと比較して目標コンクリート強度を39N/mm²と高く設定し、せん断補強筋についてはピッチを変えず中子筋を入れることでpwを2倍にした試験体である。RC2が無孔試験体、St6はせん断補強筋を切断していない有孔梁を鍔付き鋼管で補強した試験体、St8は中子筋を含めせん断補強筋を1組切断した有孔梁を鍔付き鋼管および外付けボルトで補強した試験体である。

実験における外付けボルト補強の詳細をFig. 7に示す。外付けボルト補強は、実施工では梁上部においてスラブを貫通してボルトを定着することを想定しているが、実験においてはスラブをモデル化していないため、梁上下においてチャンネル材で定着した。梁上端においてもチャンネル材が変形することを考慮すると、スラブ内でプレートを用いて定着するよりも外付けボルトの効果は小さくなるものと考えられるので、実際よりも安全側の条件である。また、試験体の外付けボルトを定着する際にはラチエットなどの工具を用いたが、チャンネル材と梁の間に敷いたモルタルが硬化する前に作業を行っており、ボルトに初期張力はほとんど生じていないことを確認した。

載荷装置やサイクルは実験シリーズIと同様であるので、ここでは説明を割愛する (Fig. 5参照)。

4.2 実験シリーズIIの結果

せん断力-変形角関係の包絡線比較をFig. 8に、破壊状況の代表としてSt4およびSt8の最終破壊状況をPhoto 2に、最大耐力の比較をTable 7に示す。

コンクリート強度とせん断補強筋比を比較的の高めに設定した無孔試験体RC2は、変形角R=1/200 radのサイクルでせん断補強筋が降伏し、変形角R=1/100 radのサイクルで主筋が降伏し、変形角R=1/67 radのサイクルで最大耐力 (+303.8kNおよび-296.3kN)に達した。

せん断補強筋を切断していない有孔梁を鍔付き鋼管で補強したSt4は、変形角R=1/200radのサイクルで開口周辺の補強筋の降伏がみられ、変形角R=1/100 radのサイクルで、部材下端部のせん断ひび割れが拡幅し、最大耐力(+187.5kN)に達した。その後のサイクルで耐力低下がみられた。St4の開口径を小さくして比較的の薄肉の鍔付き鋼管で補強したSt5は、変形角R=1/200 radのサイクルの正載荷で開口周辺の補強筋が降伏し、変形角R=1/100 radのサイクルで部材上端部のせん断ひび割れが拡幅し、最大耐力(+176.3kN)に達した。負載荷の最大耐力(-174.0kN)では、開口周辺でのひび割れ幅が上下端部よりも大きかった。RC2試験体にせん断補強筋を切断しないように開



(a) St4



(b) St8 (外付けボルト撤去後)

Photo 2 最終破壊状況

Final Destruction Status

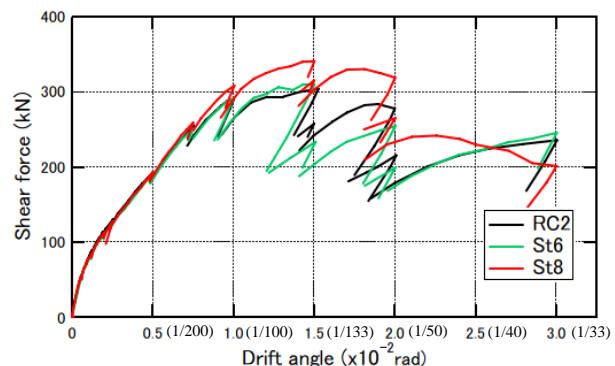
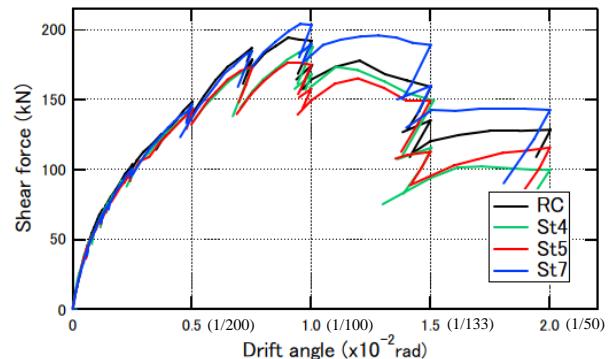


Fig. 8 せん断力-変形角関係の包絡線

Comparison of Skeletal Curves

Table 7 最大耐力の比較

Comparison of Maximum Load

(a) Fc=27

試験体名	RC	St4	St5	St7
正側最大耐力[kN]	194.3	187.5	176.3	204.0
負側最大耐力[kN]	-193.5	-164.3	-174.0	-194.3
RCに対する比率	-	0.97	0.91	1.05

(b) Fc=39

試験体名	RC2	St6	St8
正側最大耐力[kN]	303.8	309.0	340.5
負側最大耐力[kN]	-296.3	-282.0	-336.0
RC2に対する比率	-	1.02	1.12

口を設け、鍔付き鋼管により補強した試験体St6は、変形角R=1/200radのサイクルで開口周辺の補強筋の降伏がみられ、変形角R=1/100 radのサイクルで、主筋の降伏がみられた。変形角R=1/67radのサイクルで下端部のせん断ひび割れが拡幅し、最大耐力 (+309.0kNおよび

-282.0kN) に達した。その後のサイクルで耐力低下がみられた。最大耐力は、無孔梁試験体RC2をやや上回っており、最終的には開口から離れた一般部でせん断破壊した。以上の通り、St4, St5, St6はいずれも比較対象となる無孔梁と同等程度の耐力を発揮し、最終的には開口から離れた一般部でせん断破壊した。よって、実験確認範囲においては、せん断補強筋を切断しない新設開口に対して、鍔付き鋼管補強により無孔梁と同等程度まで構造性能を回復させることができたと考えられる。

開口の新設によりせん断補強筋を1組切断した梁を鍔付き鋼管および外付けボルトで補強したSt7は、変形角R = 1/133 radのサイクルで開口周辺のせん断補強筋が降伏し、変形角R = 1/100 radのサイクルで最大耐力 (+204.0kNおよび-194.3kN) に達した。最大耐力は、無孔梁のせん断耐力の計算値より18%ほど大きかった。RC2に対して中子筋を含む1組のせん断補強筋を切断する開口を設け、鍔付き鋼管および外付けボルトによって補強したSt8は、変形角R = 1/133radのサイクルで開口周辺の補強筋の降伏がみられ、変形角R = 1/100 radのサイクルで、主筋の降伏がみられた。変形角R = 1/67radのサイクルで下端部のせん断ひび割れが拡幅し、最大耐力 (+340.5kNおよび-336.0kN) に達した。試験体St8の最大耐力は、無孔試験体RC2を12%ほど上回っていた。外付けボルトのひずみをFig. 8に示す。外付けボルトは降伏には至っていないものの大きなひずみが生じており、せん断力に対して補強効果を有していたものと考えられる。またSt7, St8とともに、最終的には開口から離れた一般部でせん断破壊したことから、せん断補強筋を1組切断する場合においても、鍔付き鋼管と外付けボルトの組み合わせにより無孔梁と同等程度まで構造性能を回復させることができたと考えられる。

4.3 実験シリーズⅡから得た知見

実験シリーズⅡより、以下の知見を得た。

- 1) 開口の新設によりせん断補強筋を切断しない梁に補強を施した試験体St4, St5, St6は、いずれも無孔梁のせん断耐力計算値以上の最大耐力を発揮し、開口部から離れた梁一般部においてせん断破壊した。よって、本実験の確認範囲においては、せん断補強筋を切断しない場合は鍔付き鋼管のみによって、有孔梁の構造性能を無孔梁と同等程度に回復させることができるものと考えられる。
- 2) 開口の新設によりせん断補強筋を1組切断した梁に補強を施した試験体St7, St8は、いずれも比較対象となる無孔試験体のせん断耐力を上回り、開口部から離れた梁一般部においてせん断破壊した。よって、本実験の確認範囲においては、せん断補強筋を1組切断した場合でも、鍔付き鋼管と外付けボルトの組み合わせによる補強によって、有孔梁の構造性能を無孔梁と同等以上に回復させができるものと考えられる。

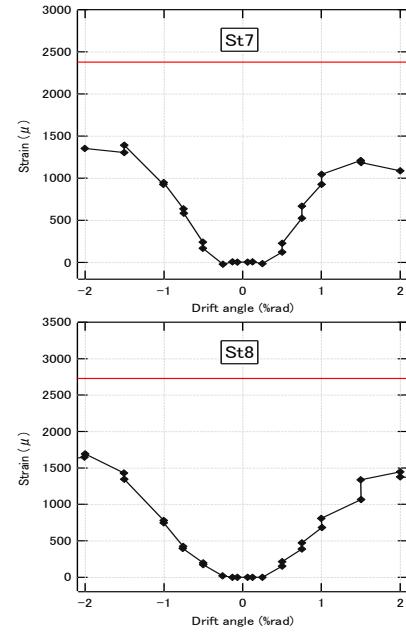


Fig. 8 外付けボルトのひずみ

Strain of Bolt

5. まとめと今後の展望

2シリーズの実験結果より、開口を新設した既存RC梁の構造性能を、補強によって無孔梁と同等の水準まで回復させられることがわかった。ここで、開口新設によりせん断補強筋を切断しない場合は「鍔付き鋼管補強」によって、せん断補強筋を切断する場合は「鍔付き鋼管補強」と「外付けボルト補強」の組み合わせによって、梁を補強する。

本工法が普及すれば、建築リニューアル工事の自由度は拡大し、既存ストックの有効利用という社会課題の解決に寄与できるものと考える。そこで、多くの工事で本工法が採用されるよう、開発工法に関する第三者評価を取得する準備を現在進めている。現場での施工実績を蓄積し、今後も中長期的に本技術の普及とメンテナンスに努めていきたい。

謝辞

本技術の開発は、コーリョー建販株式会社殿、株式会社堀江建築工学研究所殿との共同研究によるものです。また実験においては、国立大学法人豊橋技術科学大学の松井智哉准教授の多大なご支援をいただきました。ここに、篤く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 渋市克彦, 杉本訓祥, 増田安彦, 萩尾浩也: CFRP板を用いたRC有孔梁に対する補強工法「ハリトース工法」の開発, 大林組技術研究所報, No.77, 2013