

# ブラストキー工法を適用した壁の増し打ち補強工法における実験的検証

## Experimental Verification of an Additional Wall Reinforcement Method Using the Blast Key Method

阿部 隆 英<sup>\*1</sup> 坂本 啓 太<sup>\*1</sup>  
Takahide Abe Keita Sakamoto

樋 渡 健<sup>\*2</sup> 高瀬 裕 也<sup>\*3</sup> 香取 慶 一<sup>\*4</sup>  
Takeshi Hiwatashi Yuya Takase Keichi Katori

### 【要旨】

著者らは、低粉塵・低騒音・低振動型の目荒らし工法であるブラストキー工法を開発してきた。耐震補強工法の一つである壁の増し打ち補強工法は、既存壁と補強壁が一体化するように接合面にチップングによる目荒らしを施工することが一般的である。しかしながら、チップングによる目荒らしは、面積管理が困難であることや、施工環境を保持することが困難である。本論文では施工環境に配慮し、管理が容易なブラストキーを壁の増し打ちの接合面に適用した実験を実施し、既存壁と補強壁の挙動から構造性能を定性的に評価することを目的とする。

【キーワード】 目荒らし、ブラストキー、チップング、増し打ち壁、耐震補強

### 1. はじめに

壁の増し打ち補強工法は、耐震補強工法として多く用いられている。この工法は、板厚が薄い既存壁に鉄筋コンクリート壁の増し打ちを行い、耐力を増大させることを目的としており、増し打ち壁（以下、「補強壁」という）は、既存壁との一体性を確実に確保することが重要である。そのため、一般的に打ち継ぎ面となる範囲の既存壁面（以下、接合面と称する）には、チップングによる目荒らし（以下、単にチップングという）が施工される。このチップングは、電動ピックを用いて、打撃によりコンクリート面に凹凸を形成させるため、騒音、振動、粉塵が伴うことが多い上、打撃により既存壁への損傷も懸念される。また、壁の増し打ち補強工法は、壁面の施工範囲が広い場合、工具の振動による施工者の負担が大きいことも挙げられる。

著者らは、チップングと比較して、より少ない施工面積かつ低騒音・低振動・低粉塵で施工が可能な目荒らし「ブラストキー」の開発を進めてきた（例えば1)2)。ブラストキーは耐震補強において、直径50mm程度の円柱状のシアキーを既存躯体と補強部材の接合面に配置する工法である。ブラストキーの形状を図-1に示す。また、施工においては打撃を行わず湿式コアドリルで穿孔するため、前述の通り低騒音・低振動・低粉塵が可能となり、固体伝搬音を低減することができる。更にチップングは、施工時の面積や深さを管理することが困難である（例えば3)4)が、ブラストキーは施工した個数を管理すればよいから、管理方法が非常に容易である特徴を有している。

以上の背景より、ブラストキーを壁の増し打ちの接合

面に適用することで、環境に配慮し、管理が容易である目荒らしの施工が可能となる。そこで本論文では、壁の増し打ち補強工法において、打ち継ぎ面となる接合面にブラストキーを配置し、構造性能を実験的に検証し、定性的に評価することを目的とする。

### 2. ブラストキーの概要

ブラストキーは、形状により破壊形式を制御することができる。ブラストキーの破壊形式は、図-2に示すように、ブラストキー側面でのコンクリートの圧壊（以下、支圧破壊と称する）とブラストキーの底面（凸部側に対する底面）におけるせん断破壊（以下、シアオフ破壊と称する）である。また、ブラストキーの直径 $R$ と高さ $t$ の比 $R/t=10$ とした場合の破壊形式は支圧破壊であり、 $R/t$



図-1 ブラストキーの形状

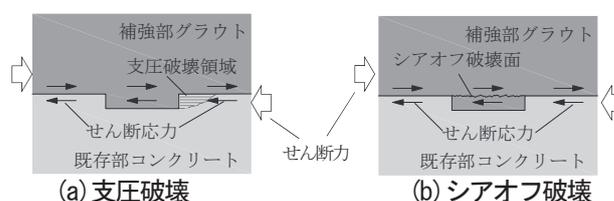


図-2 ブラストキー破壊形式

=5とした場合の破壊形式はシアオフ破壊となる。シアオフ破壊は、支圧破壊と比較して最大荷重後に大きな荷重低下を示す。そのため、実務的には靱性型の破壊と言える支圧破壊型とすることが望ましい。

### 3. 実験概要

#### 3.1 試験体概要

試験体は、周辺フレームを柱と梁で囲まれた壁板に生じる圧縮ストラット部分を抜き出した部材を対象とする。図-3に圧縮ストラット抜き出し試験体のイメージを示す。壁板は、一般に縦横等量の鉄筋で補強されており、この壁板が水平力を受けた場合、壁板のせん断ひび割れは、水平軸とほぼ45度の角度で生じることが多いと示されている<sup>9)</sup>。そこで、本実験においても、ひび割れ角度45度の理想化した状態を想定し、これと異なる場合に生じるひび割れ間のひび割れ方向応力伝達は耐力に及ぼす影響は小さいと考えた。

#### 3.2 試験体諸元

試験体の主な変動因子は、接合面における目荒らし方法の違いとした。試験体諸元の一覧を表-1に示す。まず、目荒らし方法は、①何もしない、②チップング、③ブラストキーの3種類とし、基準となる既存壁の面積に対するチップングの面積の比は、各基・規準により異なるが、文献3)によるとチップング面積比は、10~15%程度であるため、この最大値である15%とした。また、ブラストキーを配置した試験体の変動因子は、ブラストキーの配置個数、シアコネクタの有無とした。なお、シアコネクタ

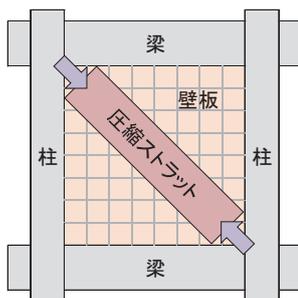


図-3 圧縮ストラット抜き出し試験体のイメージ

表-1 試験体諸元の一覧

試験体名	目荒らし方法	目荒らし面積		シアコネクタ
		設定値	実測値	
N	なし	0%	0%	-
C	チップング	15.0%	15.0%	
B150	ブラストキー	4.3%	5.6%	
B150SC		(52個)	3.9%	8-M6
B75		(88個)	7.0%	-

はM6の六角ボルトを使用し、既存壁側に42mm、補強壁側に72mmそれぞれ定着させた。

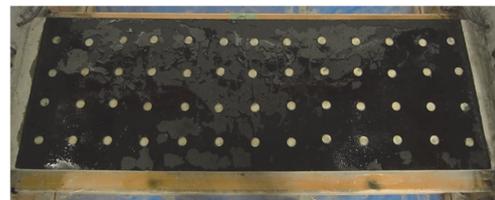
面積比の計測は、既存壁を黒色の塗料で塗装し、チップングした箇所及びブラストキー配置箇所にコンクリートの灰色が現れることを利用し、画像解析を用いて行う。この画像解析による実測値を表-1にあわせて示す。施工後の実測値に関しては、当初の設定したチップング面積と大きな乖離なく施工が出来ていることがわかる。試験体における既存壁側の接合面の状態の一例を写真-1に示す。

接合面は、純粹に目荒らし方法の違いを比較するため、チップング及びブラストキーを施していない平滑面にグリースを塗布している。そのため、コンクリート同士の付着による影響を極力排除している。

既存壁の配筋はD6@150(壁筋比0.35)、補強壁の配筋はD10@100(壁筋比0.71)とし、コンクリート強度は耐震補強を想定しているため、既存部側を15N/mm<sup>2</sup>程度、補強部側を27N/mm<sup>2</sup>程度とした。表-2に材料試験結果を示す。



(a) C試験体(チップング 15.0%)



(b) B150試験体(ブラストキー 4.3%)

写真-1 既存部側の接合面の状態

表-2 材料試験結果

(a) 鉄筋

種別	降伏点(N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ(N/mm <sup>2</sup> )	伸び(%)
D6(SD295A)	321	513	18
D10(SD295A)	348	502	27

(b) コンクリート圧縮強度

試験体名	既存壁(N/mm <sup>2</sup> )	補強壁(N/mm <sup>2</sup> )
N	15.5	27.1
C	14.7	26.4
B150	15.0	27.9
B150SC	14.6	25.0
B75	14.7	26.9

### 3.3 試験体形状

試験体は、実建物の約 1/2 スケールとし、壁板の長さを 1500mm、幅を 500mm とした。ブラストキーの形状は、試験体縮尺が約 1/2 であるため  $R=28\text{mm}$  とし、 $t$  に関しては、2 章で述べた通り、破壊形式を支圧破壊型 ( $R/t=10$ ) とするため、 $t=3\text{mm}$  とした。図-5 に試験体形状を、図-6 に壁板におけるブラストキー (シアコネクタ) の配置図を示す。

### 3.4 載荷方法

試験体は、壁板に生じる圧縮ストラット部分を模擬している。図-7 に壁の圧縮ストラットを再現した載荷実験の載荷装置図を示す。試験体は、3000kN 鉛直ジャッキ

を用いて圧縮方向に漸増単調載荷により実験を行う。加力は壁板の軸方向変位 (鉛直変位) を変形量 0.35mm から 0.35mm 刻みで 2 サイクルずつ載荷を行った。除荷時は、鉛直ジャッキを荷重制御とし、荷重ゼロの位置まで除荷し、その後、加力を繰り返す行い載荷履歴とする。

### 3.5 計測方法

計測は、鉛直ジャッキ荷重、既存壁及び補強壁両者の上部から 375mm 毎に設置した高感度変位計による軸変位を計測する。また、既存壁と補強壁との界面の離れ (以下、目開きと呼称する) を観察するため、中央にパイ型変位計を設置する。

## 4. 実験結果

### 4.1 破壊状況

写真-2 に B150 試験体を例に挙げ、試験体の最終破壊状況を示す。全試験体において、既存壁側にひび割れが生じ、その幅が載荷と共に増大していく傾向が見られた。その後、補強壁にもひび割れが生じた。また、壁板の側面においては、既存壁と補強壁の鉛直方向にひび割れが生じ、最終破壊は既存壁と補強壁がそれぞれ外側方向への座屈となり、急激な耐力低下を伴った。

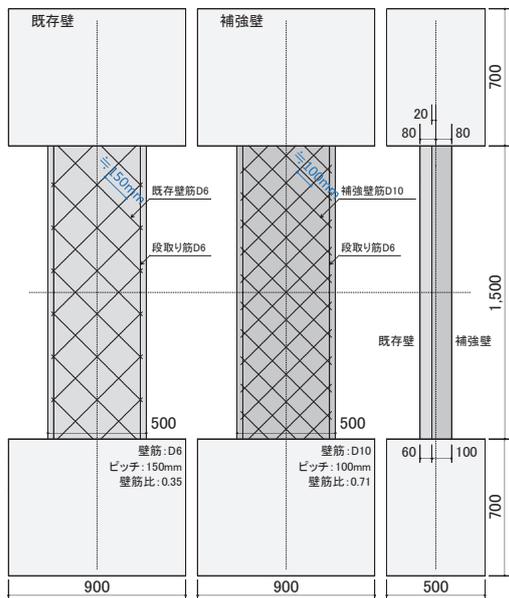


図-5 試験体形状

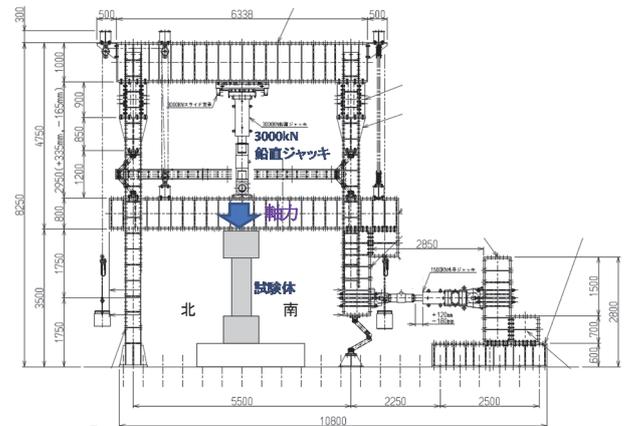


図-7 載荷装置図

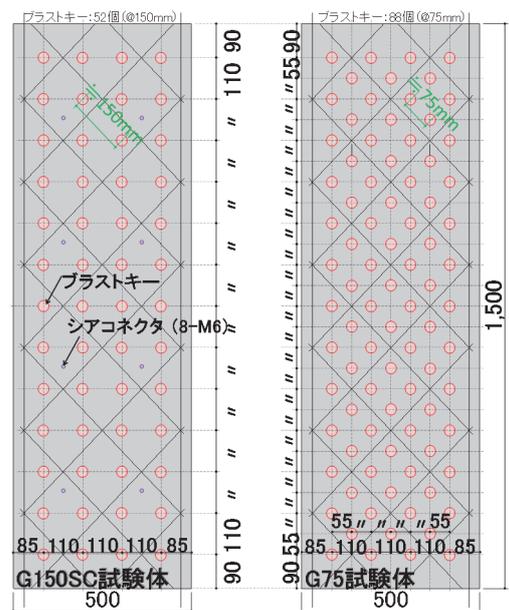
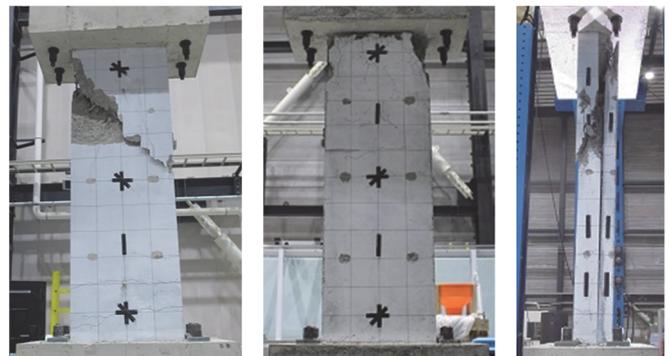


図-6 壁板におけるブラストキー配置図



既存壁正面 (西面) 補強壁正面 (東面) 壁側面 (北面)  
写真-2 最終破壊状況 (B150)

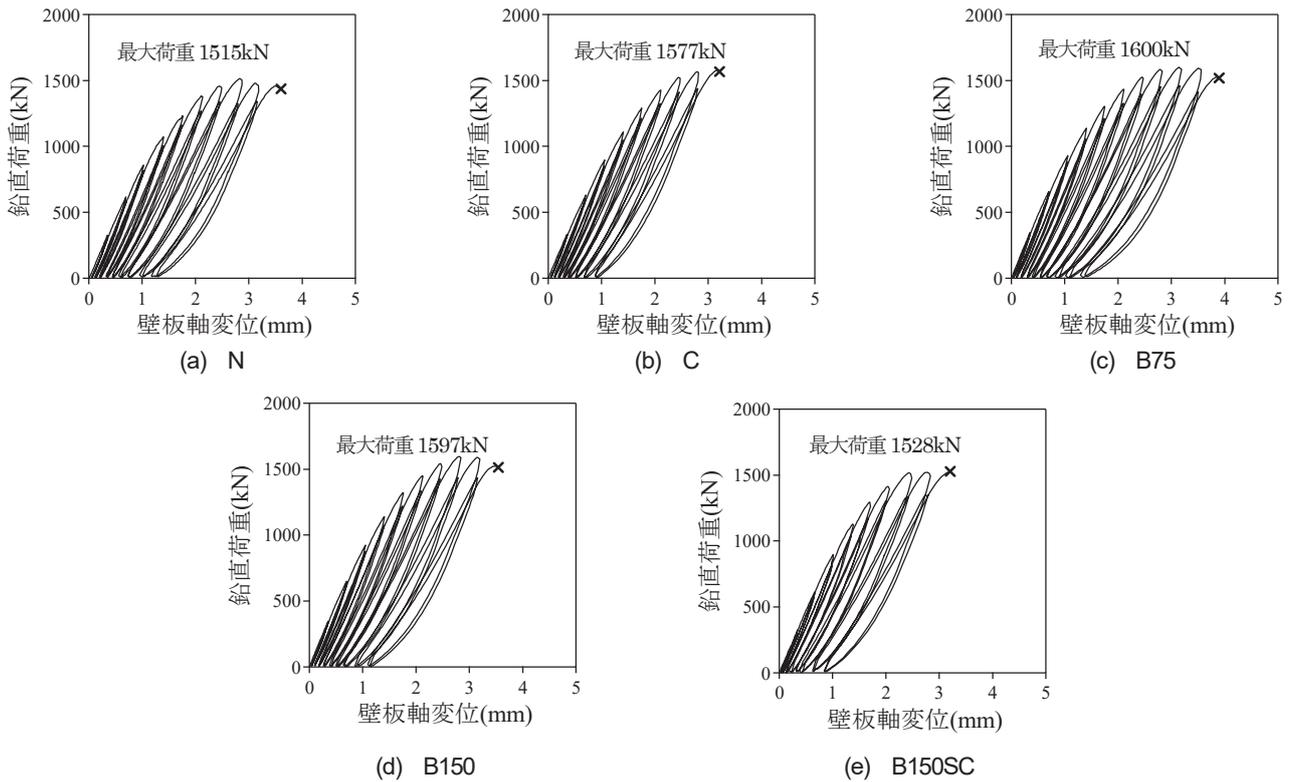


図-7 鉛直荷重一壁板軸変位関係

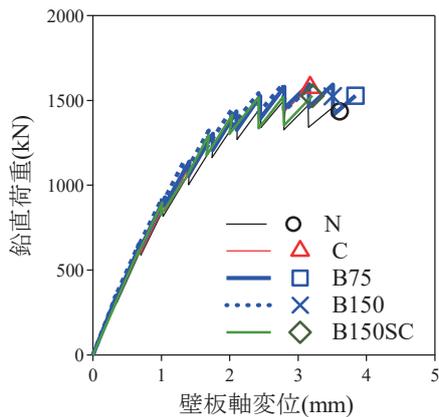


図-8 鉛直荷重一壁板軸変位の包絡線

#### 4.2 鉛直荷重一壁板軸変位関係

本節では、変動因子毎に試験体の挙動を比較する。図-7に各試験体の鉛直荷重一壁板軸変位関係を示し、図-8に包絡線を示す。接合面に目荒らしを何も施さない試験体Nは、最大鉛直荷重が最も小さいことから、接合面に目荒らしを施した試験体は、接合面を介して応力を伝達し合い、一体性が確保できると考えられる。また、チッピングとブラストキーの試験体を比較すると、最大鉛直荷重は同程度であり、既存壁と補強壁の一体性は両者ともに良好であると言えそうである。

最終破壊時の壁板軸変位を観察すると、最大耐力に達するまでの変位は、チッピングを施した試験体Cより、ブラストキーを配置した試験体B75、B150及びB150SCの方が大きい傾向を示している。また、ブラストキーの

配置数量の違いに着目すると、ブラストキーの配置数量がある程度を超えても、目荒らし効果としては頭打ちになることが推察できる。

シアコネクタは、界面の離れが抑制され、良好な結果が出ると推測していたが、シアコネクタを配置しない方が最大耐力、変形性能ともに良好な結果であった。この理由は、シアコネクタにより部分的に大きな応力を負担することで、壁面全体のバランスが損なわれている可能性があると考えられる。

#### 4.3 既存壁と補強壁の目開き

図-9に、壁板軸変位2.10mmまでの目開き変位一壁板軸変位の関係を示す。界面目開きの計測箇所は、壁板の両側面(北面、南面)の上部、中央、下部のそれぞれ3点を測定しているが、ここでは両側面の中央の計測結果を図示する。

試験体Nは、载荷サイクルが進むにつれて目開きが増大する傾向が見られる。また、他の試験体と比較すると、試験体Nは突出して大きな目開きが生じると言える。

試験体C、B75、B150においては、载荷サイクルが進むにつれて目開きが若干増大する傾向が見られるが、試験体Nと比較すると、極めて目開き変位は小さい。また、概ね同じ挙動を呈していると言える。

シアコネクタを使用した試験体B150SCでは、シアコネクタにより目開きを拘束する効果が見られず、試験体Nの次に目開き変位は大きい値を示した。

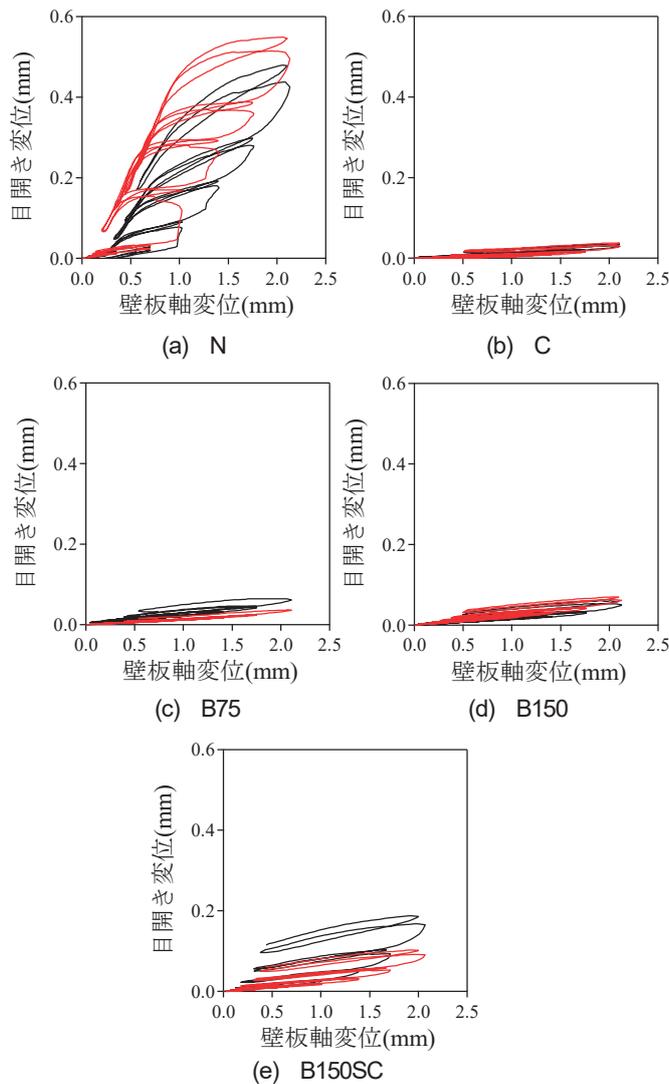


図-9 目開き変位-壁板軸変位関係

これらの傾向より、チップングやブラストキーを接合面に施すことで、目開き変位を抑える効果がある、つまり既存壁と補強壁が一体化する傾向があると言える。また、シアコネクタに関しては、前節で述べた鉛直荷重-壁板軸変位関係だけでなく、目開きに関しても効果が見られなかった。

## 5. まとめ

本論文は、壁の増し打ち補強工法において、打ち継ぎ面となる既存壁面にブラストキーを配置し、周辺フレームを柱と梁で囲まれた壁板に生じる圧縮ストラット部分を抜き出した部材を対象とした載荷実験を実施した。その結果、目荒らしの有無、チップングとブラストキーの

違い及びシアコネクタの有無による構造性能を定性的に評価した。以下に本論文で得た知見を示す。

- 1) 最大鉛直荷重は、ブラストキーもしくはチップングによる目荒らしを施した方が、目荒らしを施さない試験体より大きい値を示し、ブラストキーとチップングにおいては、概ね同程度であった。
- 2) 目荒らしを施さない試験体の最大鉛直荷重、変形性能は、ブラストキーやチップングによる目荒らしを施した試験体と比較して、最も小さく、目開きは最も大きい結果であった。
- 3) シアコネクタを設置した試験体の最大鉛直荷重、変形性能及び目開きは、設置しない方が良好な結果を得た。以上より、ブラストキーやチップングによる目荒らしを施すことで、既存壁と補強壁が一体となると判断される。また、施工環境や施工管理の容易さから、ブラストキーは、壁の増し打ち補強工法に適した目荒らし工法であると言える。なお、ブラストキー工法は、2019年3月28日に一般社団法人建築研究振興協会より技術（性能）評価を取得している。

## 【参考文献】

- 1) 阿部英,樋渡健,久保田雅春,高瀬裕也,香取慶一:コンクリート構造物の耐震補強の接合部に適用する円柱状シアキーの提案と耐力式の構築,円柱状シアキーを用いた間接接合部に関する研究,日本建築学会構造系論文集,第736号,pp.873-883,2017.
- 2) 阿部隆英,樋渡健,高瀬裕也,香取慶一:コンクリート構造物の耐震補強の接合部に適用する円柱状シアキーの力学モデルの構築,コンクリート工学論文集,第30巻,pp.11-20,2019.
- 3) 阿部隆英,樋渡健,坂本啓太,高瀬裕也,香取慶一:既存コンクリートのチップングによる目荒らしの凹凸形状がせん断耐力に及ぼす影響,日本建築学会技術報告集,Vol.24, no.57, pp.665-660, 2018.
- 4) 磯崎翼,高瀬裕也,阿部隆英,坂本啓太,樋渡健,香取慶一:既存コンクリート部材におけるコンクリート目荒らし面のせん断応力伝達と微小面の接触応力に基づく力学モデル,日本建築学会構造系論文集,第83巻,第750号,pp.1151-1159,2018.
- 5) 江崎文也,真境名正彦:外部拘束を受けるRC壁板の圧縮性能に及ぼす壁筋強度の影響,コンクリート工学年次論文集,vol.19, No.2, 1997.

**Summary** The authors, et al., have been engaged in developing the Blast Key Method, which is a low-noise, low-vibration roughening method generating less fine dust. As an additional wall reinforcement method, which is one of the anti-seismic reinforcement methods, roughening of the joint surface by chipping is commonly done to ensure integration of existing walls with reinforcing walls. However, roughening by chipping leads to two problems: controlling surface areas and difficulty in preserving the construction environment. The purpose of this paper is to qualitatively assess structural performance from the behavior of existing and reinforcing walls in an experiment conducted by applying an easy-to-control blast key to additional joint surfaces of walls.

**Key Words** : *Roughening Concrete Surface, Blast-key, Chipping, Strengthening Shear Wall, Seismic Retrofitting,*