

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	ギャップブレースを有する鉄骨架構のブレース稼働に伴う影響 その3 実験結果と付加応力の評価
Title(English)	Impact of brace operation on steel frames with gap braces Part3 Evaluation of experimental results and additional stress
著者(和文)	高橋周吾, 佐藤大樹, 矢野将斗志, Alex Shegay, 笠井和彦
Authors(English)	Shugo Takahashi, Daiki Sato, Masatoshi Yano, Aleksey Vadimovich Shegay, Kazuhiko Kasai
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 289-292
Citation(English)	, , , pp. 289-292
発行日 / Pub. date	2022, 3

ギャップブレースを有する鉄骨架構のブレース稼働に伴う影響

その3 実験結果と付加応力の評価

構造-振動

変形制御機構 ギャップブレース 付加応力

静的載荷実験 主応力分布

正会員 ○ 高橋周吾*¹

// 矢野将斗志*¹

// 笠井和彦*⁴

正会員 佐藤大樹*²

// Alex Shegay*³

1. はじめに

本報その3では、本報その1における実験概要・計測概要や本報その2における計測の妥当性の検証を踏まえて、本機構の挙動やブレース稼働に伴う影響について考察を行う。

2. 荷重 - 層間変形角関係

Fig.1 に荷重-層間変形角関係を示す。 Q_F は主架構せん断力、 Q_B はブレース軸力の水平成分（以降、ブレースせん断力（その1^{4.4}節））を示しており、 Q_F と Q_B の和としてシステムせん断力 Q_S が算出される。B60 試験体に着目すると $Q_J = \pm 400$ kN サイクル (Fig.1(a)) では、ブレースは稼働せず主架構は弾性挙動を示す。この時のシステム剛性 K_S は 51 kN/mm である。次いで $Q_J = \pm 600$ kN サイクル (Fig.1(b)) では、ギャップ間隔 ($\Delta u = 7.5$ mm) と概ね等しい層間変形 7.3 mm (層間変形角 $R = 1/132$) 時にブレースが稼働することで、 K_S が 108 kN/mm まで上昇することを確認できる。この時、主架構剛性 K_F はブレース稼働とともに低下し、それに伴い Q_F は頭打ちになる。また、本サイクル最大荷重時における層間変形角 R は 1/108 である。 $Q_J = \pm 800$ kN サイクル (Fig.1(c)) においても 600 kN サイクル同様の傾向を示すが、ブレース材に降伏が生じ始めることからブレース剛性 K_B および K_S に非線形性が生じる。また、本サイクル最大荷重時における層間変形角 R は 1/93 である。最後に $Q_J = \pm 1000$ kN サイクル (Fig.1(d)) においては、最大荷重時に圧縮側ブレースに座屈が生じることに伴い、 Q_S は頭打ちになりシステムが最大耐力を迎える。さらに、ブレースによる変形制御効果が得られなくなり、架構の変形が急激に増大する。続いて、B80 試験体に着目すると、本試験体においても B60 試験体と同様の傾向を示し、層間変形がギャップ間隔に達したタイミングで K_S が上昇する。ただし、B80 試験体においては $Q_J = \pm 1000$ kN サイクルまでブレースは概ね弾性的挙動を示

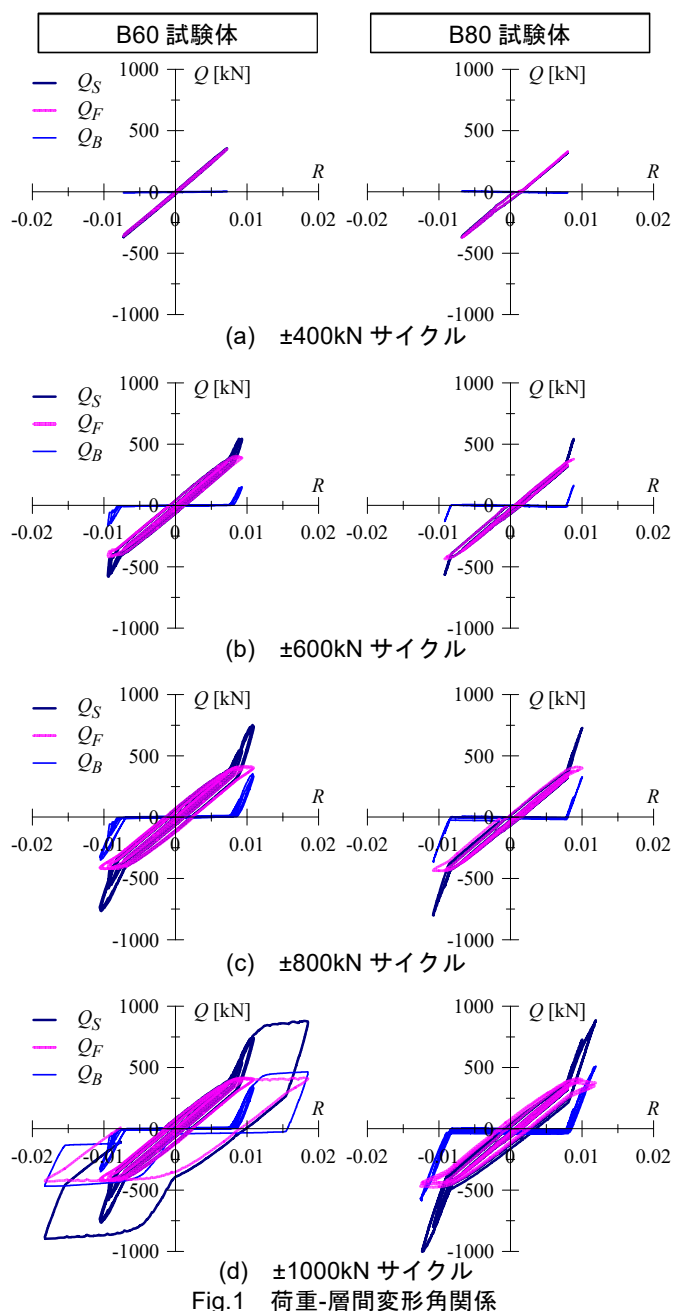


Fig.1 荷重-層間変形角関係

す。よって、本実験の最大荷重時まで変形制御効果が得られ、この時の層間変形角 R は $1/84$ である。続いて、Fig.2 に荷重増大に伴うせん断力分担率を示す。Fig.2 よりブレース稼働前はジャッキ荷重増大に伴い主架構せん断力 Q_F は増加するが、ブレース稼働後は、ブレースが荷重を負担することで Q_F の増大を抑え、特に B80 試験体においては $Q_J = \pm 800$ kN 以降で Q_F が低下する傾向を確認できる。これは、B80 ではブレースが最大荷重時まで概ね弾性的挙動を示し、層間変形が増大してもブレースが十分に荷重を負担するためであると考えられる。以上より、本機構が硬化型復元力特性を有し、ブレース稼働により変形が制御され、 Q_F が抑えられることを確認した。

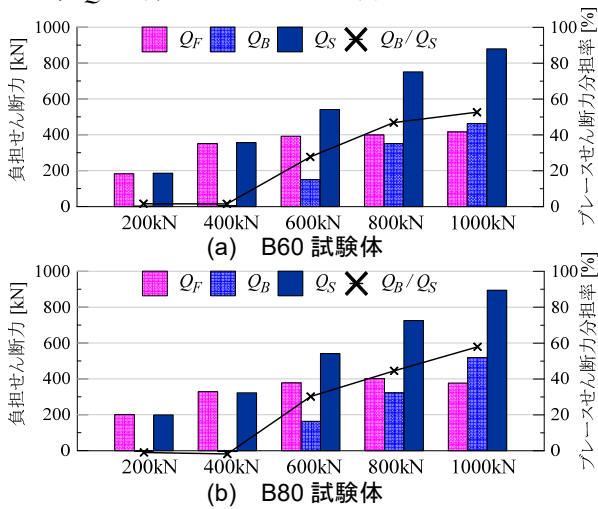


Fig.2 せん断力分担率

3. ブレース稼働に伴う応力状態の変化

3.1 ブレース稼働前後での応力伝達

本機構は、ブレース稼働に伴い急激に応力状態が変化する。そこで本節では、ブレース稼働前後での応力伝達の変化について考察する。Fig.3(a), (b)に正荷重ブレース稼働前後での主応力分布をそれぞれ示す。主応力分布は試験体に貼付した三軸歪ゲージより算出し、本検討では歪ゲージが使用鋼材の降伏歪以下であることを確認できた $Q_J = +400$ kN, $+600$ kN 荷重時における分布を示す。ブレース稼働前 $Q_J = +400$ kN 荷重時 (Fig.3 (a)) に着目すると、上梁ウェブには材軸斜め方向に主応力が分布している。これは上梁の曲げ変形に伴い生じたものであり、この影響はビームヘッジにまで及んでいると考えられる。また、ガセットプレートにおいては、左側ガセットプレートでは圧縮、右側ガセットプレートでは引張の主応力が分布しており、これは荷重に伴い架構に変形が生じたためであると考えられる。続いて、ブレース稼働後 $Q_J = +600$ kN 荷重時 (Fig.3 (b)) に着目すると、上梁ウェブにおいては、最小主応力分布の方向が材軸方向へとシフトし、部分的に主応力の大きさの増減を確認できる。これはブレースせん断力が上梁へと伝達され、上梁軸力が増大したことやブレースがビームヘッジに接触することで上梁に曲げ

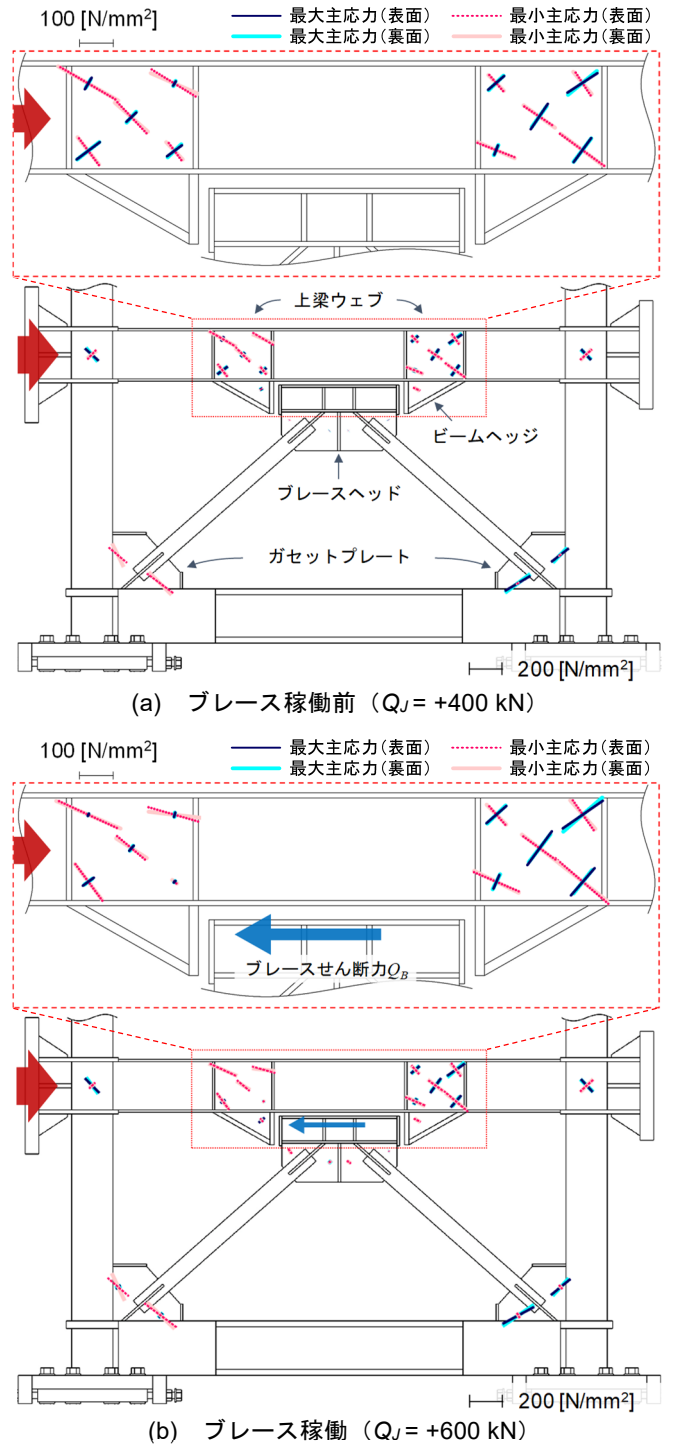


Fig.3 主応力分布

戻しが生じ、局所的に曲げ変形が小さくなったためと考えられる。また、荷重ジャッキ側とは反対の上梁ウェブ（右側上梁ウェブ）においては上梁の曲げ変形の影響のみを受け、ブレース稼働による影響はほとんど生じないことを確認できる。ブレースヘッドにおいては、ブレース稼働に伴い主応力が分布することを確認できる。ガセットプレートにおいては、ブレース稼働前に生じていた主応力が架構の変形増大に伴い増大する。加えて、ブレースが軸力を負担することに伴い、ブレース軸方向と同方向にも主応力が生じることを確認できる。

3.2 スチフナに生じる軸力

Fig.4 にスチフナ概要を示す。ブレースが稼働した際、上梁にはビームヘッジを介して軸力およびモーメントが付加される。この時、ビームヘッジ上部に位置する上梁の局部座屈を防止するため、鉛直方向スチフナを設けている。スチフナには厚さ 9mm の SN490 材を用いており、ビームヘッジの左右端部上の上梁に隅肉溶接で接合している。本節では、歪計測結果より算出されるスチフナに生じる軸力 N_{sf} について考察を行う。ブレース稼働時、ビームヘッジにブレースせん断力 Q_B が作用することで、スチフナには転倒モーメントによる軸力 N_{fm} が生じる。スチフナ間の距離を $L_{BH}=217$ mm、ブレースせん断力 Q_B が作用する高さをビームヘッジ高さの $H_{BH}=40$ mm となる位置として検討を行う (式(1))。なお、ブレースせん断力 Q_B が作用する高さ H_{BH} については 5 章で後述する。

$$N_{fm} = \frac{H_{BH}}{L_{BH}} \cdot Q_B \quad (1)$$

Fig.5 に N_{fm} と N_{sf} の結果を示す。本結果より、転倒モーメントにより生じる軸力 N_{fm} が上梁スチフナに生じる軸力 N_{sf} の 75% ~ 90% 程度と大部分を占めていることがわかる。さらに、スチフナにおける降伏軸力 $N_y=541.7$ N/mm² とスチフナに生じる軸力を比較すると、スチフナに生じる軸力は最大で降伏軸力の 0.16 倍と十分に小さく、現設計で十分に安全であることが分かる。

3.3 ビームヘッジ内の負担せん断力の検討

Fig.6 にビームヘッジにおける応力伝達を示す。ブレースが稼働すると、上梁から伝達される軸力の一部がビームヘッジを経由してブレースへと流れる。そこで本節では、ビームヘッジにおける力の流れについて考察する。ビームヘッジは下フランジとウェブで構成されており、下フランジに生じる軸力 N_{bhf} とウェブに生じるせん断力 Q_{bhw} によってビームヘッジの応力伝達が行なわれる。この時の荷重はブレースせん断力 Q_B と等しい。ビームヘッジ下フランジに生じる軸力 N_{bhf} は歪計測結果より算出され、 N_{bhf} の水平成分を下フランジにおける負担せん断力 Q_{bhf} とする。また、ビームヘッジのウェブには、ブレースせん断力 Q_B と下フランジにおける負担せん断力 Q_{bhf} の差分のせん断力 Q_{bhw} が生じる (以下、式(2),(3))。

$$Q_{bhf} = N_{bhf} \cdot \cos\theta_{BH} \quad (2)$$

$$Q_{bhw} = Q_B - Q_{bhf} \quad (3)$$

ここで、 θ_{BH} はビームヘッジ下フランジの角度 (=30°) を示す。

Fig.7 に最大荷重時のビームヘッジに生じるせん断力結果を示す。 $Q_j = \pm 400$ kN サイクル時にブレースは稼働しないため、ビームヘッジにおいてもせん断力は生じない。続いて、ブレースが稼働する $Q_j = \pm 600$ kN サイクル以降

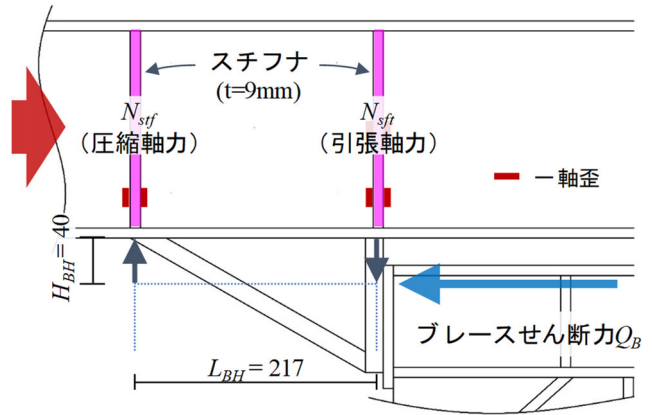


Fig.4 上梁のスチフナに作用する転倒モーメント

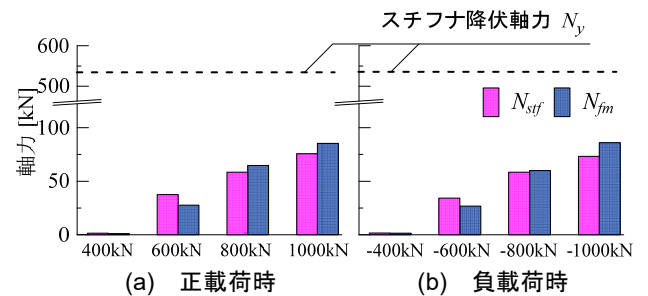


Fig.5 最大荷重時における N_{fm} , N_{sf} [kN]

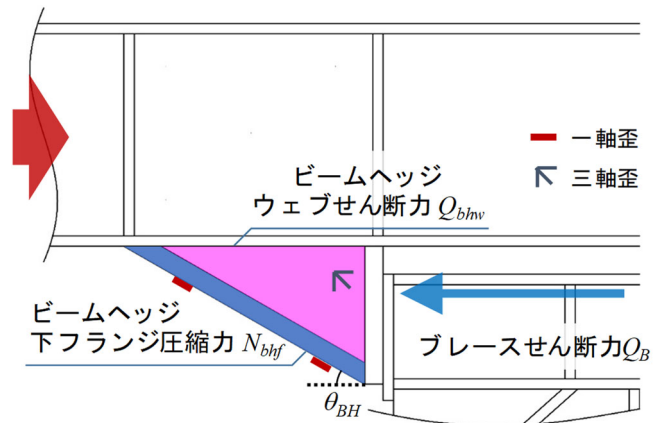


Fig.6 ビームヘッジにおける応力伝達

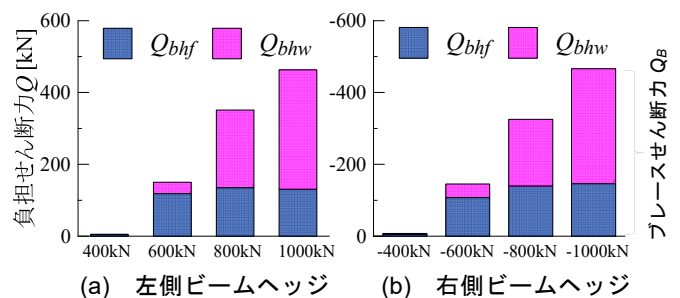


Fig.7 最大荷重時における Q_{bhf} , Q_{bhw} [kN]

の結果に着目すると、ビームヘッジ下フランジにおいてはジャッキ荷重が増大しても負担せん断力 Q_{bhf} が 120 kN 程度と概ね一定であることが分かる。そのため、ジャッキ荷重増大に伴いブレースせん断力 Q_B が増加すると、ビームヘッジのウェブにおける負担せん断力 Q_{bhw} が相対的に大きくなる事が分かる。

4. 上梁における付加軸力の検討

ブレース稼働時、荷重ジャッキ側の上梁断面には軸力が付加される。付加軸力の値はブレース負担せん断力 Q_B と等しく、その値はブレース材の断面サイズによって異なる (Fig.1, 2)。B80 試験体の場合は、1000 kN サイクルにおいてもブレース材に座屈は生じず、ブレース材の軸力が最大荷重時まで単調増加する。正載荷最大荷重時に上梁に付加される軸力は 530 kN に達する。一方、B60 試験体の場合は、1000 kN サイクル時にブレース材に座屈が生じるため、付加軸力の値は B80 試験体よりも小さい。しかし、ブレース材座屈により架構の変形が急激に進行することで、上梁端部に大きな局部座屈が生じる。実設計においては、これらの現象を踏まえ、適切な上梁の補強やブレース材断面の決定が求められる。

5. 上梁における付加モーメントの検討

Fig.8 に正載荷時における上梁に生じる付加モーメントの算出方法を示す。ブレースが稼働すると、上梁ブームヘッジ取り付け箇所にブレースせん断力 Q_B とブームヘッジ腕の長さ H_{bh} の積で算出される付加モーメント M_{BH} が生じ、上梁におけるモーメント分布は不連続となる (以下、式(4))。

$$M_{BH} = Q_B \cdot H_{bh} \quad (4)$$

本章では、ブームヘッジにおける付加モーメント M_{BH} を適切に評価するために、実験結果をもとに合理的なブームヘッジ取り付け位置 L_{bh} と腕の長さ H_{bh} となる位置の検討を行う。本検討では、ブームヘッジ取り付け位置 L_{bh} をブームヘッジ端部から $L/3$, $L/2$ となるような点 (Fig.8 中 1~5 の位置)、腕の長さ H_{bh} を上梁下フランジとブームヘッジ接合部高さから $H/3$, $H/2$ となるような点 (Fig.8 中 A~E の位置) とし、計 25 箇所での検討を行う。正載荷時においては、ブームヘッジ接合部の上梁左側モーメント M_{Gu}^L と M_{BH} の和 M_{BH}^L と、上梁右側モーメント M_{Gu}^R を比較する。本検討では、 M_{BH}^L と M_{Gu}^R の結果に決定係数 R^2 を用いた評価を行う。 R^2 が 1 に近いほど誤差が小さいことを意味する (以下、式(5)~(7))。

$$M_{BH}^L(i) = M_{Gu}^L(i) + M_{BH}(i) \quad (5)$$

$$\alpha(i) = M_{BH}^L(i) - M_{Gu}^R(i) \quad (6)$$

$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_{k=1}^n (\alpha(i))^2}{\sum_{i=1}^n (M_{BH}^L(i) - \bar{\alpha}(i))^2} \right) \quad * i = \text{step} \quad (7)$$

また、負載荷時とも正載荷時同様に検討を行う。Fig.9 に R^2 結果を示す。Fig.9 より正載荷時、負載荷時ともに検討箇所 B3 の位置で相対二乗誤差が最小となることが分かる。この位置は、ブームヘッジ取り付け位置 L_{bh} に着目すると、ブームヘッジ接合部の中心に位置する。また、ブームヘッジ腕の長さ H_{bh} に着目すると、ブームヘッジ高さ H の $1/3$ となり、三角形の形状をしているブームヘッジの重心に位置する高さとなることが分かる。

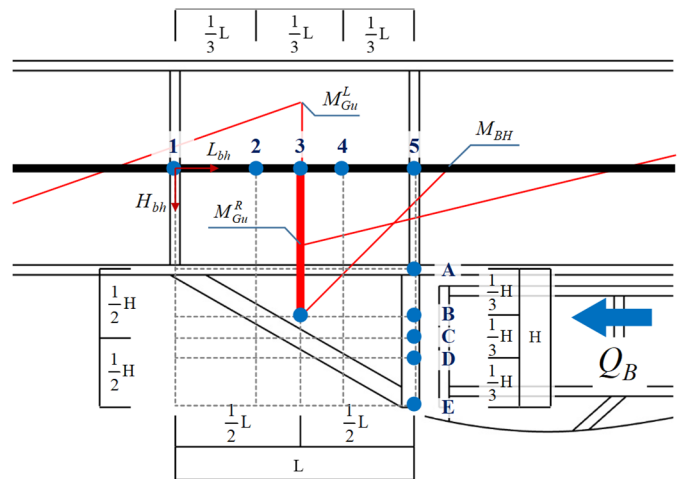


Fig.8 正載荷時における付加モーメント算出方法

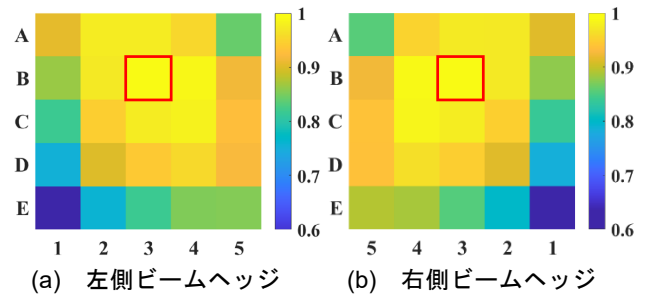


Fig.9 決定係数 R^2 (B60 試験体)

6. まとめ

本報その 3 では、ギャップブレース試験体における静的荷重実験を行った結果として、実験時の挙動の報告、ブレース稼働による応力状態の変化、付加応力の評価を行った。

謝辞

本研究は東京工業大学と(株)竹中工務店との共同研究であり、一部は JST 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム (JPMJOP1723) によるものです。ここに記して感謝の意を表します。

*1 学生会員 東京工業大学 大学院生
 *2 東京工業大学 未来産業技術研究所 准教授・博士(工学)
 *3 東京工業大学 未来産業技術研究所 助教・Ph. D.
 *4 東京工業大学 科学技術創成研究院 特任教授・Ph. D.

Graduate Student, Tokyo Institute of Technology *1
 Associate Prof, FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng. *2
 Assistant Prof, FIRST, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng. *3
 Specially Appointed Prof., IIR, Tokyo Institute of Technology, Ph.D. *4