

# 充填材に AAMs を用いた座屈拘束ブレースの局部耐力

仲山 裕真

## 1. 研究目的

座屈拘束ブレース (以下、BRB) とは、軸力を負担する芯鋼材の全体座屈が拘束材で防止され、圧縮側でも塑性変形能力を期待できる部材である。拘束材の形式は多様だが、鋼管の内部にモルタルなどの材を充填した形式が、高い塑性変形能力を発揮することが知られている。この充填材に、高炉スラグ微粉末などの粉体を用いたアルカリ活性化材料 (AAMs) を採用すれば、セメントを用いるモルタルより環境負荷を軽減できる見込みがある。BRB の塑性変形能力を確保するために、充填材に求められる性能として局部破壊の防止が挙げられる。大内ら<sup>1)</sup>を参考に拘束材の荷重実験を実施して、AAMs がモルタルの代替材となるか検証したので、ここに報告する。

## 2. AAMs の圧縮強度試験

表 1 に、一般的な AAMs の構成を示す。AAMs の圧縮強度は、水と結合材 (W/P)、スラグと結合材 (BFS/P)、水ガラスとアルカリ刺激剤 (SS/SH または SS/SC) やナトリウムと水 (Na/W) などの重量比で決定される。図 1 に、既往研究<sup>2)</sup>から抽出した 92 体の試験結果について、圧縮強度と BFS/P または Na/W との関係性を白丸で示す。BFS/P と圧縮強度に正の相関が、Na/W と圧縮強度に  $Na/W < 0.20$  で正、 $Na/W > 0.20$  で負の相関が見られた。これから述べる本報の試験結果を、同図中に黒四角で示すが、同様の傾向が見られた。

BFS/P とアルカリ刺激剤の種別に着目して AAMs の配合試験を実施した。図 2 に、養生期間 7 日と 28 日で測定した強度を示す。水酸化ナトリウム (SH) を用いた場合、炭酸ナトリウム (SC) を用いた場合より圧縮強度が高かったが、アルカリ刺激剤に SC を用いると、化学反応により気泡が発生し、AAMs 内で空隙が増えたことが原因と考えられる。28 日強度は 7 日強度と比較して、モルタルでは 1 割大きかったが、AAMs では 5 割以上大きかった。AAMs はモルタルより、強度発現が遅い傾向が見られた。

他に、BFS/P が大きいほど、フロー値が上昇したが、粘性が大きく、打設しにくいことを確認した。

## 3. 局部破壊実験

充填材の仕様が拘束材の局部破壊挙動に及ぼす影響を、実験で検証した。図 3 に、試験体と荷重装置を示す。拘束材が、局部変形した芯鋼材によって構面外に圧縮される状況を、三点曲げ試験で模した。拘束材には、内側に充填材を打設した溝形鋼を重ね合わせる型式を採用した。充填材には、無収縮モルタル (圧縮強度  $64.6 \text{ N/mm}^2$ 、フロー値 300) および表 2 に示す配合の AAMs を採用した。大内ら<sup>1)</sup>の予測式を用いて、BRB の塑性化領域の軸方向変形が 4% となった状態における芯材の局部変形を想定し、鋼治具の曲率半径を 70 mm とした。

1000 kN 万能試験機で試験体を単調圧縮荷重した。中央底部と支点真上 4 箇所、試験体の鉛直

表 1 AAMs の構成

分類	記号	材料名
アルカリ溶液(L)	SS	水ガラス(珪酸ソーダ)
	SH	アルカリ刺激剤 (水酸化ナトリウム、炭酸ナトリウム 等)
	SC	
結合材(P)	FA	フライアッシュ
	BFS	高炉スラグ微粉末
水	W	水
細骨材	S	砂

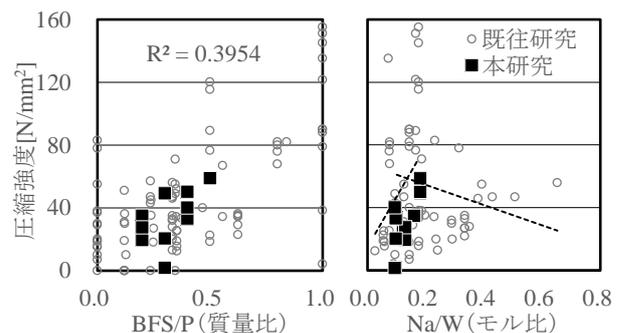


図 1 各パラメータと材料特性の関係

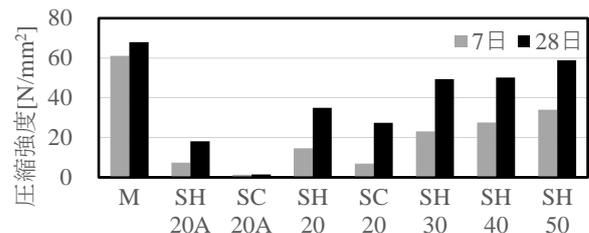


図 2 予備試験結果

変位を測定し、支点の平均変位に対する中央底部の相対変位を変形の指標とした。

図4に、実験で得た荷重と変位関係と、大内ら<sup>1)</sup>が提案した充填材の支圧破壊耐力  $P_1$ 、Lin ら<sup>3)</sup>が提案した溝形鋼の破壊耐力  $P_2$  を併せて示す。 $P_1$  は、坂田ら<sup>4)</sup>のモデルと、Hertz の接触理論<sup>5)</sup>で、支圧耐力と接触幅が一致した場合の値をとる。どの試験体に対しても、 $P_2$  が  $P_1$  より大きく算定された。

接線剛性が弾性時の半分になった時点で、局所変形が顕著になった(図4中の▼)。この時点の耐力は  $P_1$  と  $P_2$  を上まわったので、いずれの耐力式も、局所破壊を安全側に評価した。大内ら<sup>1)</sup>が観察したように、充填材がせん断破壊して、荷重が溝形鋼だけで負担される機構に移行すると、耐力は上昇した。

図5に、相対変位が4 mm のときに撮影した、試験体底部の写真を示す。充填材の強度が大きいモルタルでは、拘束材が全体的に変形したが、充填材の強度が小さい SC20 では、変形が載荷点で大きくはらみだした。図4より、充填材の圧縮強度が大きいほど、同じだけ変形するのに必要な荷重が大きくなることが読み取れることから、充填材の圧縮強度が大きいほど、芯材が拘束材に及ぼ

す直交分力はより広い範囲の鋼壁に伝達していると予想される。

#### 4. 結論

本論で得られた知見を以下に示す。

- 1) 炭酸ナトリウムを使用した場合、水酸化ナトリウムを使用した場合と比較して AAMs の強度が低くなった。スラグ・結合材の重量比が高いほど、AAMs の圧縮強度は大きかったが、粘性が高く、打設しにくかった。
- 2) 圧縮強度をパラメータとした局所破壊実験から、局所変形が顕著になった時点の耐力は理論耐力を上回った。理論耐力の提案手法は局所破壊を安全側に評価していることを確認した。また、充填材の圧縮強度が大きいほど、局所破壊による材軸方向の変形が試験体全体に広がる傾向がみられた。

#### 参考文献

- 1) 大内ら, 本建築学会大会学術講演梗概集, pp.719-720, 2018.9
- 2) 一宮ら, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.575-580, 2011.7
- 3) Lin PC etc., AIJ annual conference, pp.1183-1184, 2017.8
- 4) 坂田ら, 構造工学論文集, Vol.56B, pp.81-86, 2010.3
- 5) Timoshenko SP and Goodier JN: Theory of Elasticity (Third Edition, International Student Edition), McGraw Hill Book Company, 1970

表2 AAMs の配合

配合	BFS/P	Na/W	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]							圧縮強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	フロー値
			L		P		W	S	Total		
			SS	SH(SC)	FA	BFS					
SH20	0.20	0.16	170	30.4	352	87.9	78.4	1320	2040	18.2	235
SH30	0.30	0.18	170	30.4	308	132	59.3	1320	2020	24.0	248
SH40	0.40	0.18	170	30.4	264	176	59.3	1320	2020	38.4	234
SC20	0.20	0.13	170	24.7	352	87.9	78.4	1320	2030	15.8	243
SH20A	0.20	0.12	213	21.6	471	118	106	1320	2250	18.2	-
SC20A	0.20	0.13	213	28.6	471	118	93.7	1320	2240	1.5	-
SH50	0.50	0.18	170	30.4	220	220	59.3	1320	2020	58.8	267

※載荷試験で採用した配合を白、採用しなかった配合を網掛けで表示。

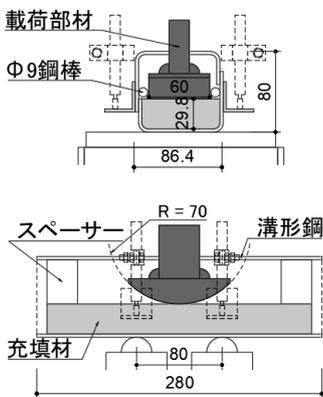


図3 試験体寸法

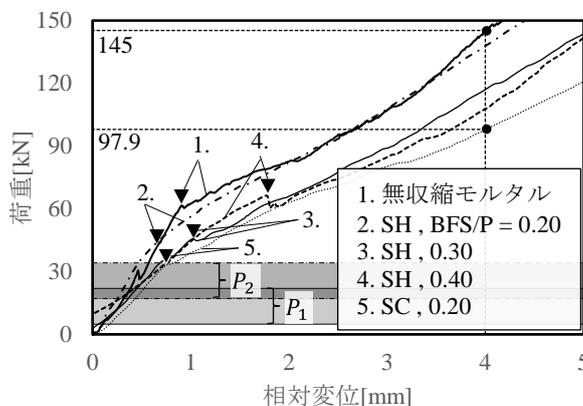
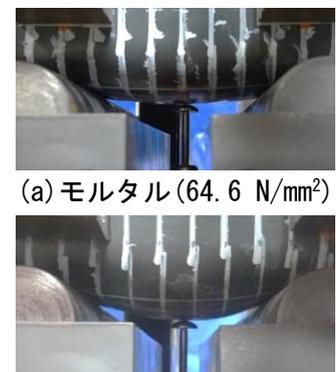


図4 本試験結果



(a) モルタル (64.6 N/mm<sup>2</sup>)

(b) SC20 (15.8 N/mm<sup>2</sup>)

図5 試験体の変形