

間隔保持材を有する波形鋼板を芯材とした BRB の性能実験

名城大学 学生会員 ○加藤弘務
新日鉄住金エンジニアリング 正会員 山崎伸介

名城大学 フェロー 宇佐美勉
名城大学 フェロー 葛 漢彬

1. 緒言

本研究では、図-1 に示すような波形鋼板を芯材に用い、面外座屈を拘束材で防止し、波形鋼板を芯材とする BRB (Rippled Plate Buckling Restrained Braces, RP-BRB) の検討を行う。既往の研究^{1,2)}では制震ストッパー (BRRP) としての利用を想定したが、本研究ではブレース材としての利用を想定している。このことに伴い、供試体は長軸化するため、既往の研究と比較して波形鋼板に特有の蛇行変形¹⁾が発生しやすい。蛇行変形が進展し、波形が軸方向に潰れ膨らむような変形 (膨らみ変形¹⁾) と組み合わせることで、隣合う波形頂部が拘束材に接触する。そのとき、拘束材で保持する変形空間内で芯材が詰まってしまい (詰まり現象¹⁾, 図-2), 軸方向に動かなくなり急激な荷重の上昇を起こす。そのため、本研究では詰まり現象を防止するという観点から、間隔保持材を有する RP-BRB の性能実験を行い間隔保持材の影響を明らかにする。

2. 実験概要

供試体は、表-1 に示す同一寸法の 3 体である。間隔保持材を No.2 は図-1 に示すように 6 か所、No.3 は全箇所計 16 個使用し、No.1 では間隔保持材を使用していない。芯材の長手方向中央には、拘束材とのずれ止め用突起が設置されている。芯材の材質は SN400B であり、プレス加工による残留ひずみに対して応力除去焼なましが施されている。間隔保持材は樹脂製であり、ヤング率は寸法効果があるが概ね 2×10^4 MPa 程度である。载荷パターンは降伏変位 $\Delta_y=3\text{mm}$ とし、1 サイクル毎に Δ_y 増加する漸増変位繰返し载荷であり、設計限界変位 40mm 到達以降は $\pm 40\text{mm}$ の一定変位振幅としている。波形の形状パラメータとして、図-3 に示す r/t と $2A$ を使用し予備解析³⁾を行うことで、その他のパラメータを決定している。

3. 実験結果

図-4 に水平荷重-水平変位履歴曲線を示す。図-4 (a)における、No.2 では No.1 で発生していた圧縮変位 $\Delta = 20\text{mm} \sim -20\text{mm}$ での局所的な膨らみ変形に伴うと思われる荷重が急激に落ち、すぐさまもとに戻る現象が改善されている。また、圧縮変位 $\Delta = -20\text{mm} \sim -30\text{mm}$ における波の詰まり現象に伴う荷重の急上昇も改善され

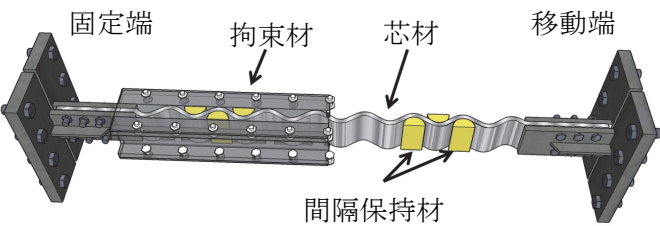


図-1 RP-BRB の模式図

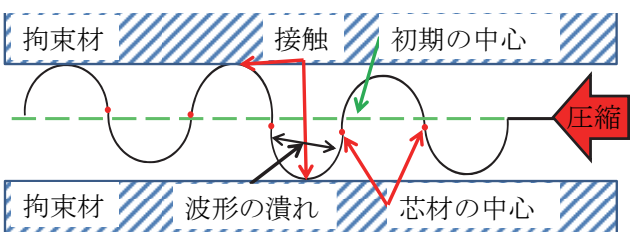


図-2 波の詰まり現象

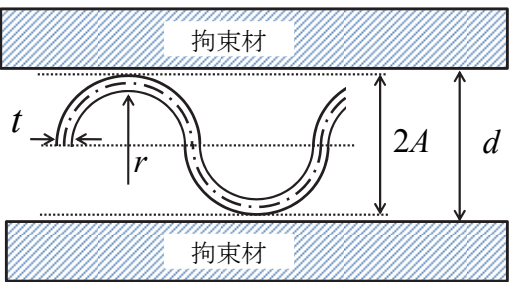
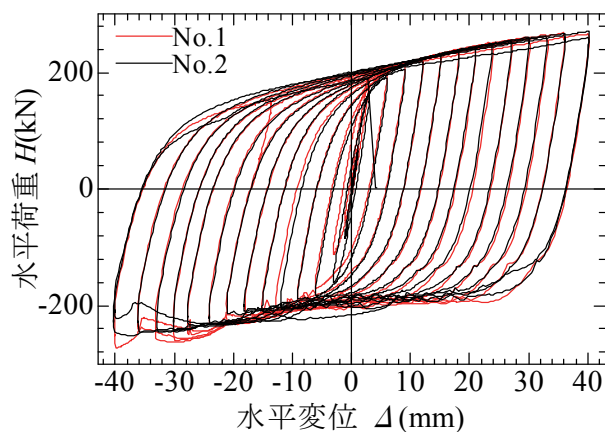


図-3 供試体寸法概略図

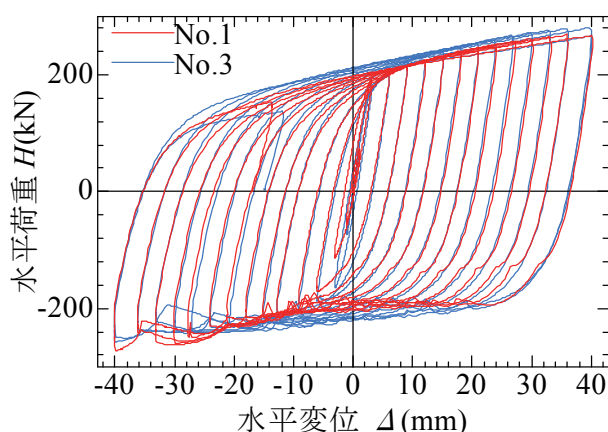
表-1 供試体一覧

No.	t (mm)	L_0 (mm)	r/t	$2A$ (mm)	d (mm)	Δ_m (mm)	間隔 保持材
1	16	1040	2.5	40	46	40	なし
2							6 箇所
3							全 16 箇所

Note: t =芯材の板厚, r =波形の内径曲率半径, L_0 =変形部長, $2A$ =波形板中心線の波高, d =拘束材間の隙間, Δ_m =設計限界変位



(a) No.1 と No.2 の比較



(b) No.1 と No.3 の比較

図-4 水平荷重－水平変位履歴曲線

表-2 RP-BRB が有する性能

No.	Δ_u/L_0	H_u	CID	$\Sigma E'$ (kN・m)	ΣE (kN・m)
1	0.38	-273	0.87	172	174
2		-252	1.02	169	201
3		-257	1.03	179	210

Note: Δ_u =最大水平変位(40mm), Δ_u/L_0 =最大平均ひずみ, H_u =最大圧縮水平荷重, CID_{lim} =累積塑性変形, $\Sigma E'$ =最大変位までの累積エネルギー吸収量, ΣE =載荷終了までの累積エネルギー吸収量

ている. 図-4 (b)の No.3 では圧縮荷重 $H=-130\text{kN}$ 付近で確認できる蛇行変形に伴う荷重の低下や圧縮変位 $\Delta=-20\text{mm}\sim-30\text{mm}$ における波の詰まり現象に伴う荷重の急上昇が改善され, 圧縮変位 $\Delta=20\text{mm}\sim-20\text{mm}$ や引張時の降伏近くでは荷重の低下が遅くなっている. これらのことは表-2 に示す最大変位までの累積エネルギー吸収量 $\Sigma E'$ に表れており, No.1 と No.2 を比較すると波の詰まり現象が発生した No.1 のほうがわずかではあるが大きく, No.1 と No.3 を比較すると荷重の低下が少なかった No.3 のほうが4%ほど大きくなっている. 最大圧縮水平荷重 H_u は No.1 が最も高く, 間隔保持材を有する No.2 と No.3 では同等程度であり波の詰まり現象に対して有効に機能したと考えられる. このように間隔保持材は波の詰まり現象を抑制し芯材の損傷を抑えたため, 低サイクル疲労性能の指標である累積塑性変形 CID^4 は間隔保持材を適用した No.2 と No.3 では改善されと考えられる. 芯材の最大のき裂発生箇所は No.1 と No.3 では芯材の中心近くで発生したのに対し, No.2 では固定端とずれ止めの中心で発生し, 間隔保持材の適用箇所によって違いが確認された.

4. 結言

本研究では, 波の詰まり現象に対し間隔保持材を適用した RP-BRB の性能実験を行いその性能を検討した. その結果, 間隔保持材は波の詰まり現象に対し有効に機能し, 低サイクル疲労性能に改善が見られた. しかし, 間隔保持材の適用箇所によって水平荷重－水平変位履歴曲線やき裂の発生箇所に違いが見られたが, 実験に供試体内部の状態が確認できないため, 詳細な挙動については明らかになっていない. そのため今後は, 解析や実験で内部の変形モードを明らかにし, より適切な間隔保持材の適用方法を検討する必要があるといえる.

参考文献

- 1) 宇佐美勉ら, 座屈拘束波形鋼板 (BRRP) ダンパーの繰り返し弾塑性挙動, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.335-348, 2014.3.
- 2) 加藤弘務ら, 実物大 BRRP 制震ダンパーの開発研究, 構造工学論文集, Vol.61A, 2014.3(投稿中).
- 3) 森翔吾ら, 数値計算を用いた BRRP ダンパーの芯材設計に関する一提案, 平成 25 年度土木学会中部支部講演概要集, pp.57-58, 2014.3.
- 4) 宇佐美勉ら, 高機能制震ダンパーの開発研究, 第 10 回地震時保有耐力シンポジウム講演論文集, pp.11-22, 2007.2.