

構造実験とコンピューター
シミュレーションを連携した
ハイブリッド実験による
制震デバイスの開発

名城大学 渡辺孝一

【講演概要】

橋梁の耐震性能を向上させるため、例えばダンパーによる制震化は有効な施策の一つである。しかし、こうした制震対策を施した橋梁に対して、実際の地震時挙動を検証することは、現実的に極めて困難である。この課題に対して、ハイブリッド実験は有効な検証手法の一つである。本講演では制震ダンパーの制震性能を検証するためのハイブリッド実験手法について紹介する。

キーワード：ダンパー，制震化，ハイブリッド実験

講演内容

1) 制震ダンパーに求める性能とは？

- 
- 高機能制震ダンパー設計に求めものは何か.
 - 静的繰り返し実験による検証結果

2) ハイブリッド実験システムの開発とダンパーに 着目した地震応答実験結果の評価

- 
- ハイブリッド実験システム(解析モデル+実験装置)改善のこれまで

3) ハイブリッド実験システムの今後

- ハイブリッド実験システムの適用が優位な事象は何か

【研究目的】高機能制震ダンパーの開発

土木構造に適用した制震ダンパーの要求性能

1. 安定した履歴特性を持ち、高いエネルギー吸収能を持つ。
2. 変形能力が大きい。
3. 低サイクル疲労強度が大きい。
4. 高い耐久性を持つ。
5. 製作が容易で安価である。
6. 取り替えが容易に出来る、あるいは取り替えが不要である。

高機能制震ダンパー

要求性能1から5を全て満たし、構造物のライフサイクル（100年程度）に渡って取り替え不要な制震ダンパーの研究開発

Buckling Restrained Brace(=BRB) KEYとなる条件ー全体座屈の防止

全体座屈発生防止条件

安全係数

$$\nu_F \geq 3.0$$

$$\nu_F = \frac{1}{\frac{P_y}{P_E^R} + \left(\frac{P_y L}{M_y^R} \right) \cdot \frac{a + d + e}{L}}$$

nominal (公称値)

a :初期たわみ, d :隙間量, e :軸圧縮力の偏心量

M_y^R :拘束材の降伏曲げモーメント

P_E^R :拘束材のオイラー座屈荷重

P_y :ブレース材の降伏軸力

} これらを大きくして
全体座屈防止条件を満たす.



静的実験および解析結果

- ・安全係数 ν_F が3.0以上の供試体は全体座屈を起こさない
- ・全体座屈を起こさなかった供試体は、目標性能を満たした。



高機能制震ダンパー

安全係数が3.0以上のBRBは、高機能座屈拘束ブレース※の目標性能を満たす。

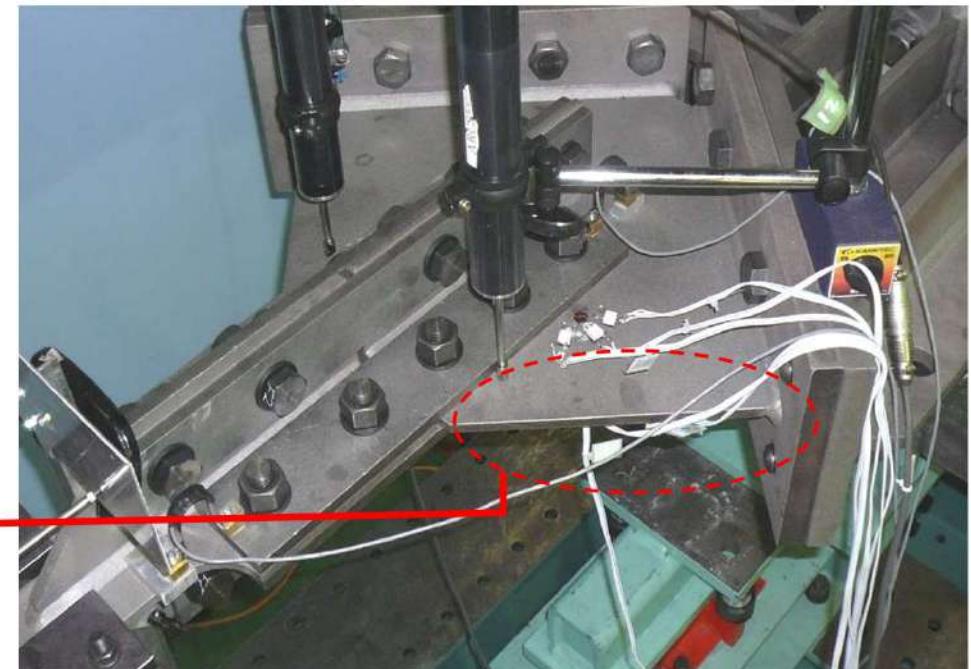
※高機能座屈拘束ブレースの開発研究、土木学会構造工学論文集、Vol.55A
座屈拘束ブレースの低サイクル疲労実験と照査法、土木学会構造工学論文集Vol.56A



この制震ダンパーを更に実用的なレベルに引き上げるために、どのような検討が必要か？

BRBと主構造との取り付け構造(弱軸曲げ方向)の検討

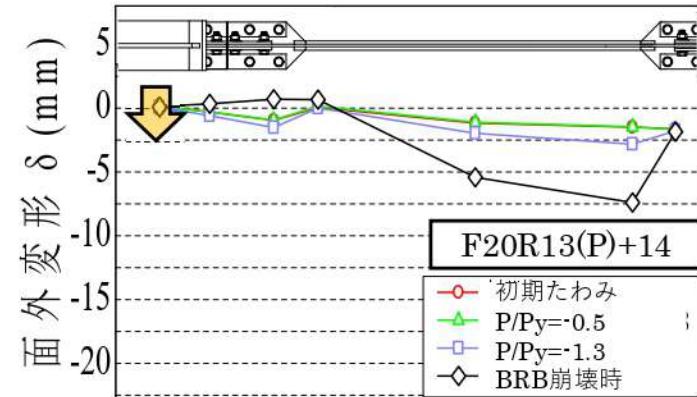
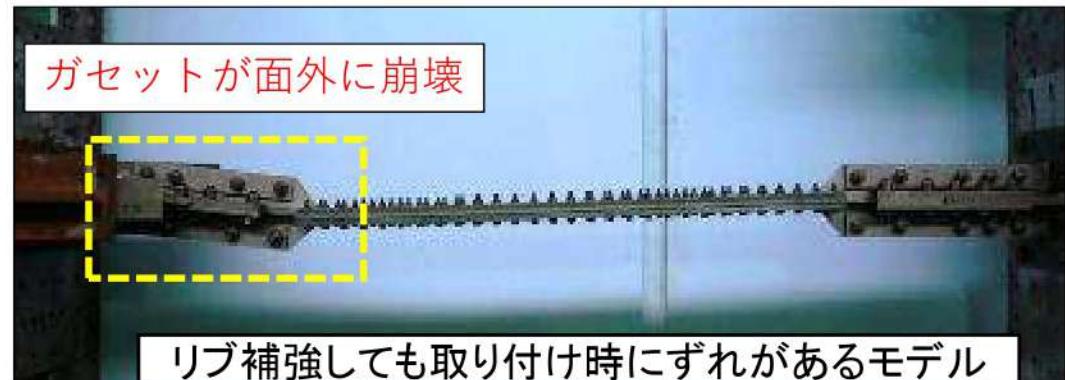
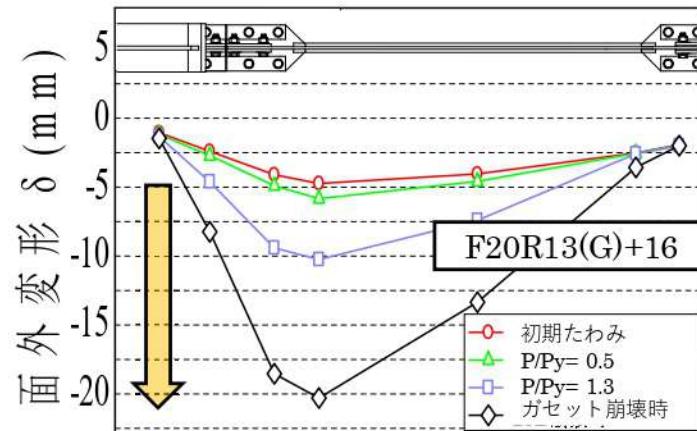
→ 取り換え可能な構造としてボルト継手構造が適切
そして、設計上必要な配慮は？



ガセットプレートを介する場合、ガセットには、
適切な断面剛性を確保するか、補強リブ設置が効果的

BRB取り付けガセット設計に関する実験結果

ガセット取付け角度のずれの影響



BRB取り付けガセット設計の実験検証結果(まとめ)

→ ガセットの設計に必要なパラメータを比較検証した

設計照査式による推定結果と実験結果の比較

供試体名	取付け角ずれ有無	$N_{max}/_G N_y + M_J/_G M_y$	破壊系
F20	有り	2.20	3ヒンジ
F20R13	有り	1.23	3ヒンジ
F20R13	無し	0.64	BRB全体座屈
F20R16	無し	0.60	BRB全体座屈
F33	有り	1.79	3ヒンジ
F33	無し	0.86	破壊せず
F36	有り	1.45	BRB全体座屈

$$\frac{N_{max}}{_G N_y} + \frac{M_J}{M_y} < 1$$

結果

ヒンジを形成して崩壊に至った供試体は設計照査式による評価が1.0を超えた
BRBが先行して全体座屈に至った供試体はF36を除いて1.0を下回る結果となった

ガセット設計照査式による評価は実験結果の傾向と一致しており、
評価式は妥当

講演内容

1) 制震ダンパーに求める性能とは？

- 
- 高機能制震ダンパー設計に求めものは何か.
 - 静的繰り返し実験による検証結果

2) ハイブリッド実験システムの開発とダンパーに 着目した地震応答実験結果の評価

- 
- ハイブリッド実験システム(解析モデル+実験装置)改善のこれまで

3) ハイブリッド実験システムの今後

- ハイブリッド実験システムの適用が優位な事象は何か

ハイブリッド実験によるBRB制震性能の検証

これまでの研究は、BRBに対する静的載荷実験によって塑性変形特性や、エネルギー吸収性能を検証した。

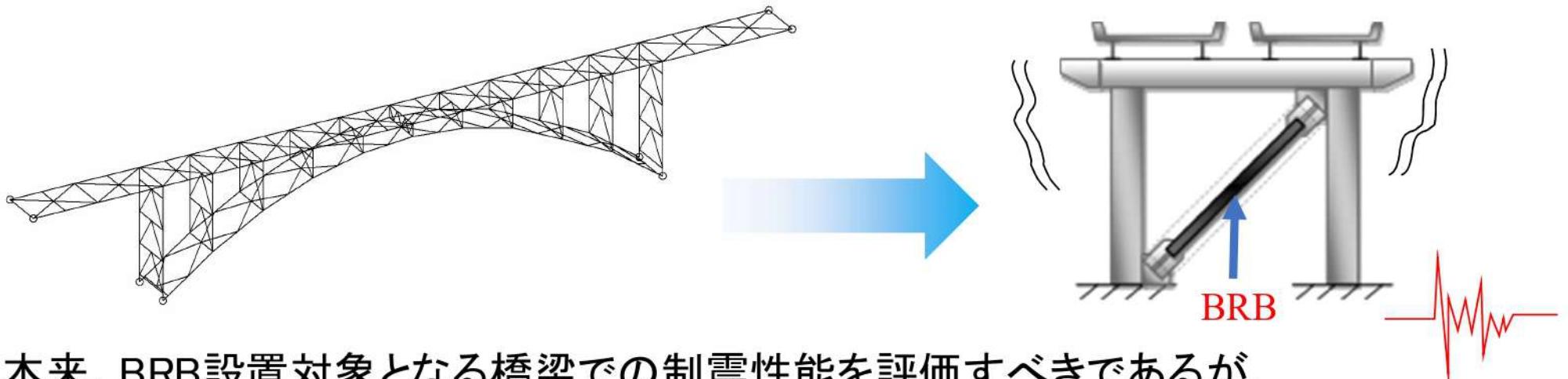


BRBは地震エネルギーを吸收・消散し減衰効果を期待する履歴型ダンパーである。

目的

- サブストラクチャ応答実験手法の構築
- BRBを内挿した構造系に**地震動**を入力し、設定した条件下での**制震性能**を検証する。

ハイブリッド実験システムを適用する構造モデルの選定



本来、BRB設置対象となる橋梁での制震性能を評価すべきであるが、複数個所のBRBの挙動に着目する必要があり、境界条件が複雑で再現は困難

1層門型ラーメン橋脚に筋交いとして設置するモデルを考案

- ・ 地震動の入力が容易で、対象とする構造物の挙動がシンプルであること、
- ・ 加振時の挙動を、1軸の載荷実験装置で模擬できること、

ハイブリッド実験システム開発の歴史

ハイブリッド実験1(プロトタイプシステム)

- 
- 解析ソフトと実験装置の連携・油圧制御などのハイブリッド実験のプロトタイプシステム開発
 - BRBの静的な実験と制震挙動の基本的検証実験

ハイブリッド実験2(並列載荷システム)

- 
- 解析ソフトと実験装置の連携・油圧制御システムの精度向上
 - 相似則を考慮したBRBの設計・複数の油圧ジャッキを用いた並列載荷システム開発

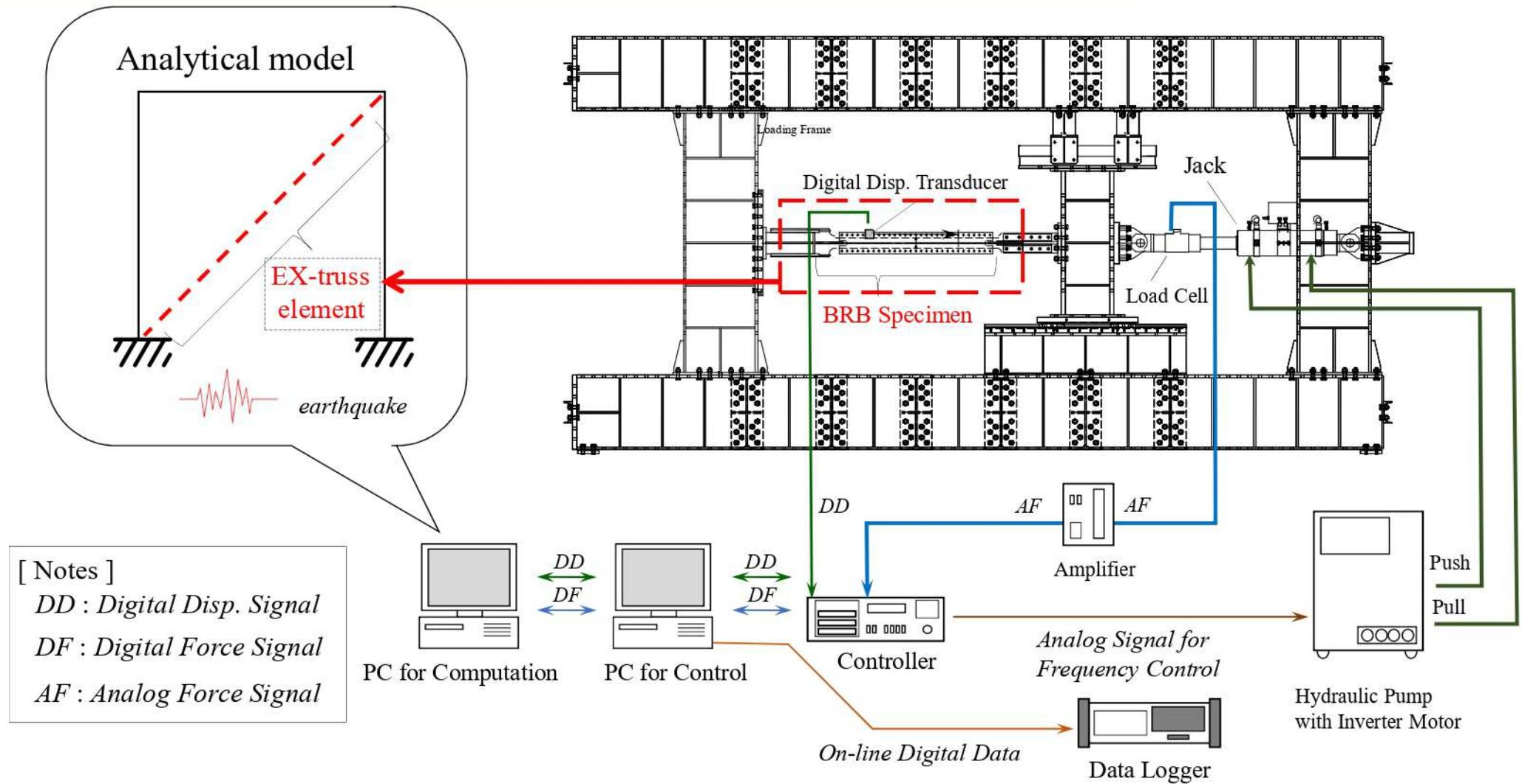
ハイブリッド実験3(パンタグラフ機構再現タイプ)

- 
- BRBの回転変形挙動を再現するためのパンタグラフ機構(平行リンク機構)の開発

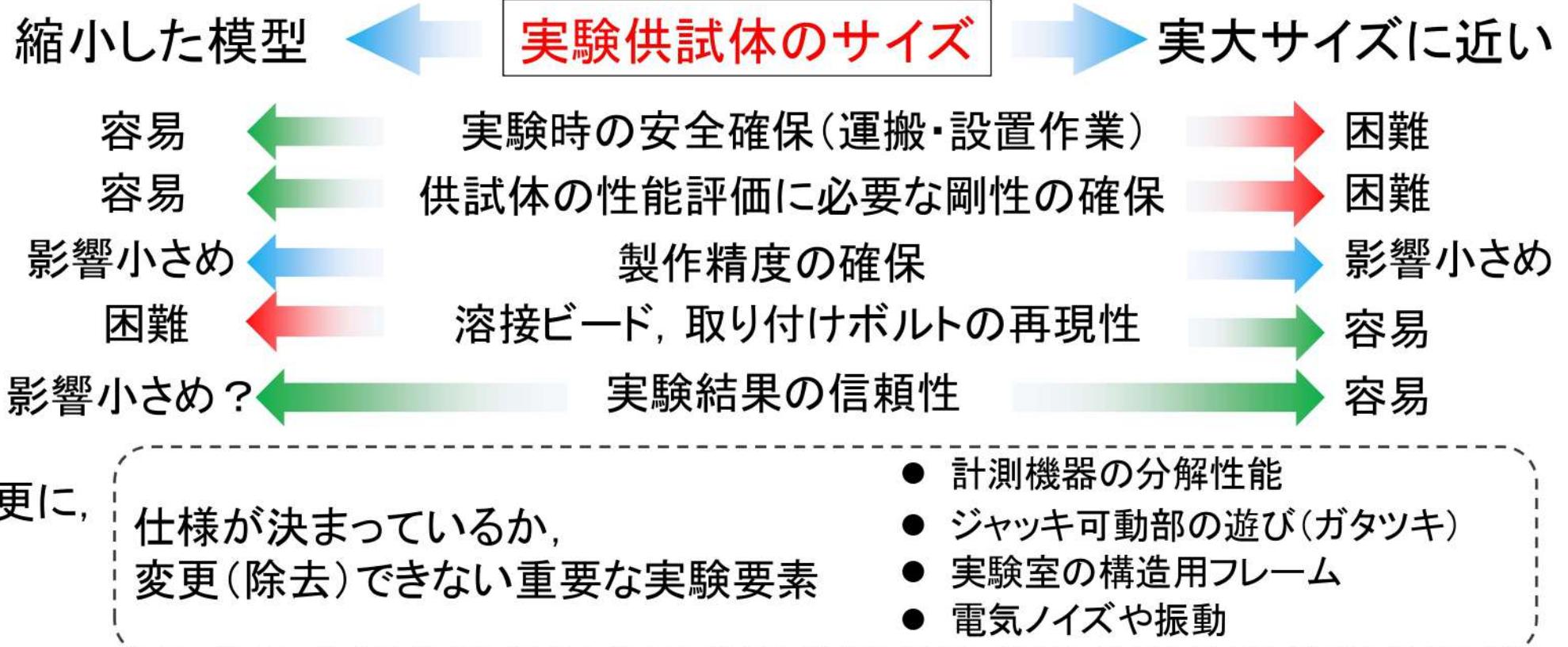
ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ)

- BRBと橋脚基部とのガセット接合構造を再現したリアルハイブリッド実験システムの開発

ハイブリッド実験システム(プロトタイプシステム)



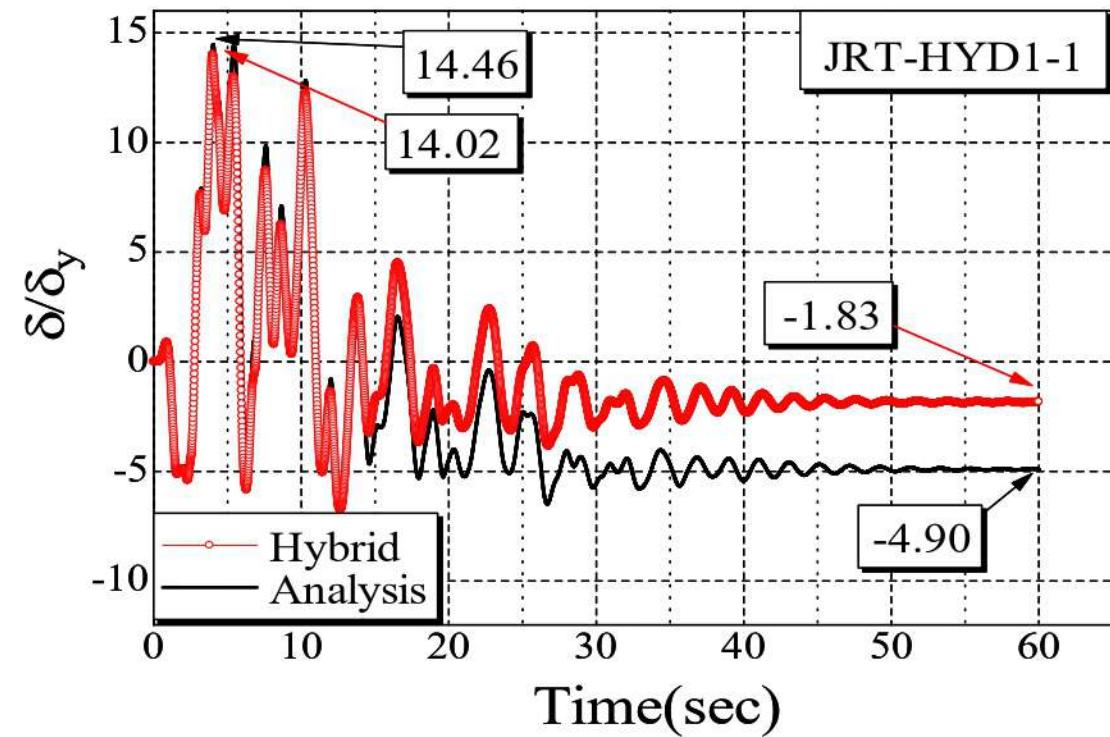
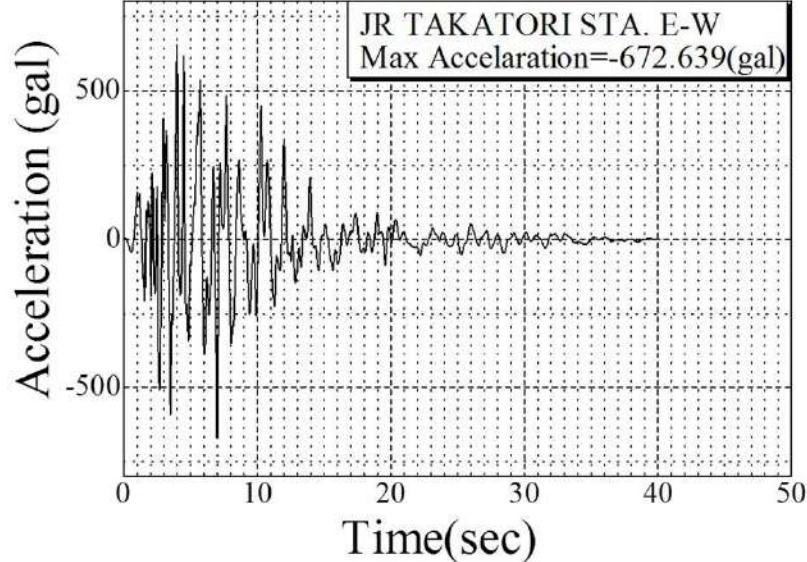
実験供試体サイズのジレンマ(構造実験の場合)



金属(等方性材料)を扱う構造実験は様々な制限があるが、
目的に応じて、パフォーマンスが良い組み合わせを考慮して実施する

プロトタイプシステムによる ハイブリッド実験結果(BRB, レベル2地震動入力時)

兵庫県南部地震
道路橋示方書(Ⅴ 耐震設計編)
レベル2地震・タイプⅡ



BRBの時刻応答履歴

プロトタイプシステムによる ハイブリッド実験結果(まとめ)

静的繰り返し載荷実験

1. 従来の論文※と同様に、本研究で用いたBRBは、高機能BRBの要求性能である $\varepsilon_u=3\%$ 以上、累積塑性変形性能CID=1.37を満たすことを確認した。

ハイブリッド実験

2. 弹性範囲の応答に調整した地震波(JMA)による、サブストラクチャ応答実験結果と数値解析結果は良く一致し、構造物の地震時応答を再現できることを示した。
3. 地震波JR-Takatoriを4回入力したラーメン橋脚のBRBの応答は、複数回の入力で生じるダメージの蓄積を考慮しても比較的安定した応答を示すことを確認した。
4. 大地震3回に耐えうることを確認できた。

【参考文献】

サブストラクチャ応答実験による高機能座屈拘束プレースの地震応答解析
渡辺孝一,吉野廣一,篠田将旭,山口亮太, 構造工学論文集 58 459-470 2012年

ハイブリッド実験システム開発の歴史

ハイブリッド実験1(プロトタイプシステム)



- 解析ソフトと実験装置の連携・油圧制御などのハイブリッド実験のプロトタイプシステム開発
- BRBの静的な実験と制震挙動の基本的検証実験

ハイブリッド実験2(並列載荷システム)



- 解析ソフトと実験装置の連携・油圧制御システムの精度向上
- 相似則を考慮したBRBの設計・複数の油圧ジャッキを用いた並列載荷システム開発

ハイブリッド実験3(パンタグラフ機構再現タイプ)



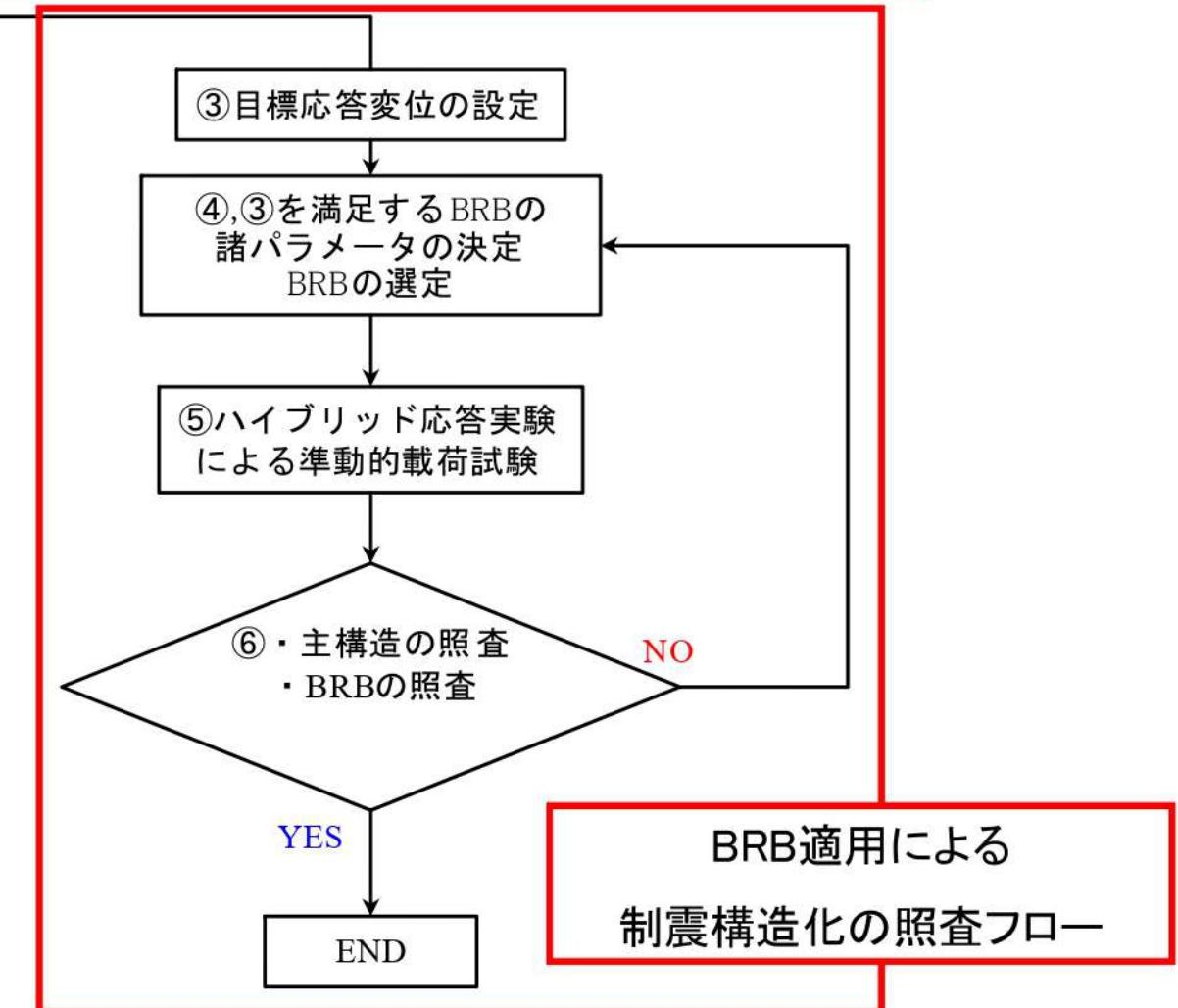
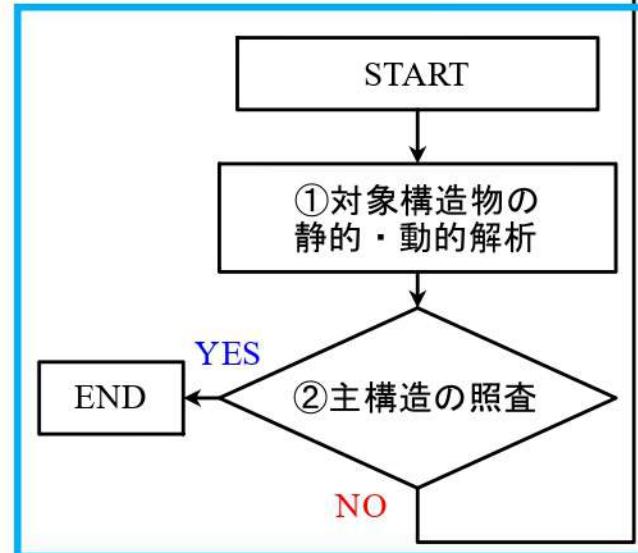
- BRBの回転変形挙動を再現するためのパンタグラフ機構(平行リンク機構)の開発

ハイブリッド実験4(ウェイ機構再現タイプ)

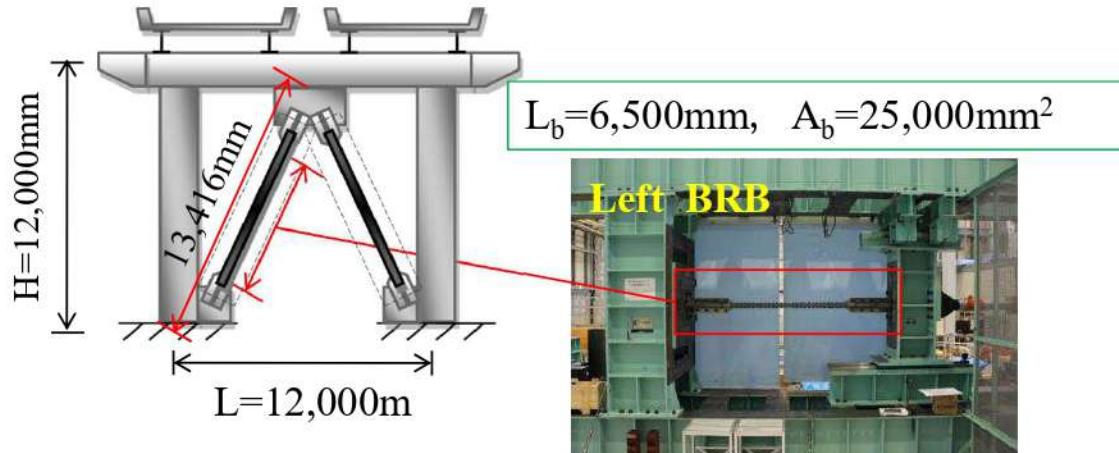
- BRBと橋脚基部とのガセット接合構造を再現したリアルハイブリッド実験システムの開発

ハイブリッド実験による鋼製ラーメン橋脚制震化フロー

既存の構造物の性能照査
(BRB取り付け前)



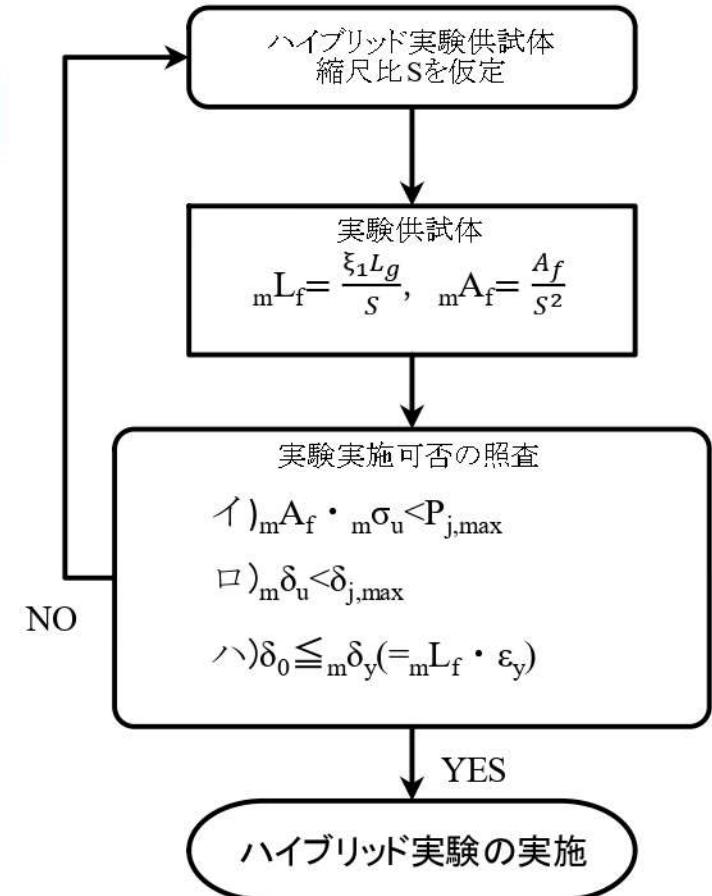
ハイブリッド実験用BRBの設計条件



- イ) BRBに与える繰り返し軸力の最大値がジャッキ載荷能力範囲であること
- ロ) BRBの伸縮変位がジャッキストロークの範囲であること
- ハ) ジャッキ制御および計測データの桁落ちを防止するため、BRBの降伏変位 $_m\delta_y$ が制御装置の変位分解精度の上限値 δ_0 以上であること

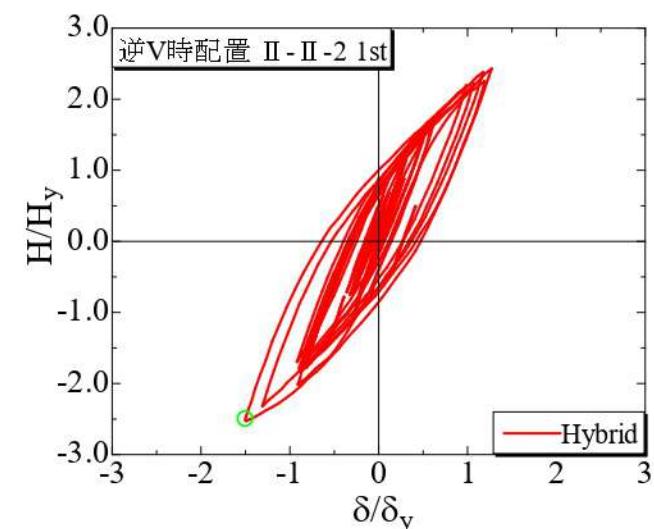
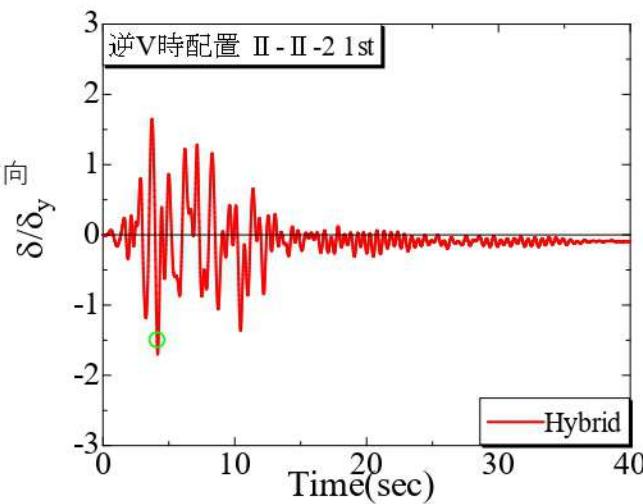
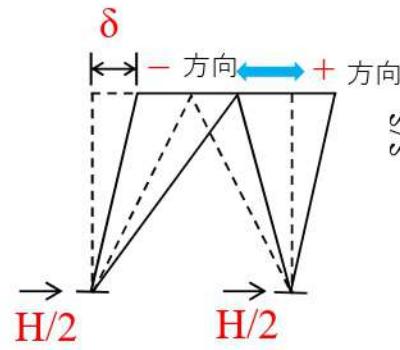
相似比※ $S = 5$

※ 才塚, 宇佐美ら: 相似則を考慮したハイブリッド地震応答実験手法に関する考察, 土木学会論文集 (1995)

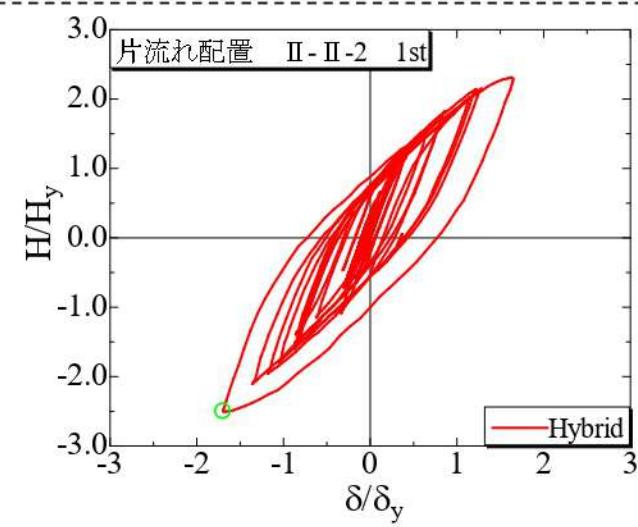
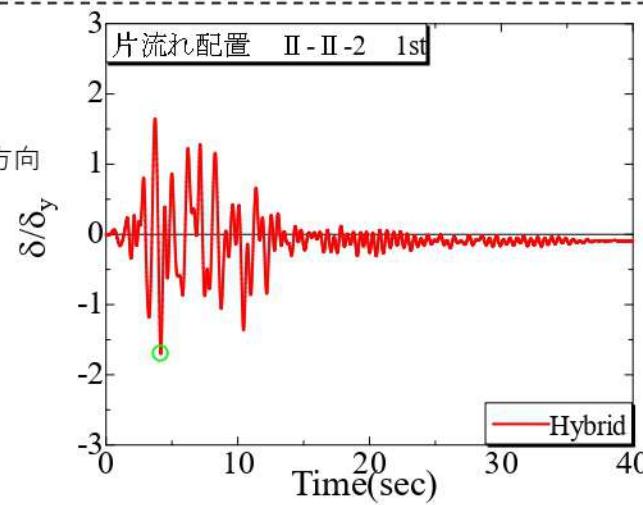
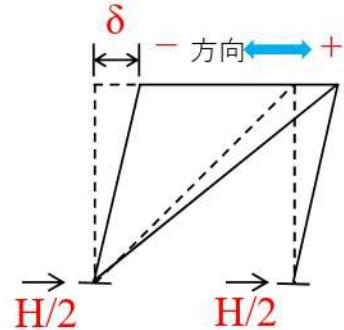


ハイブリッド実験結果 制震化したラーメン橋脚の応答

逆V字配置



片流れ配置



ハイブリッド実験による複数回地震動入力時の応答

橋脚全体の最大応答変位

BRB配置形式	試験名	橋脚の最大応答変位 δ_{\max}/δ_y		
		1波目	2波目	3波目
非制震	Analysis	3.88	----	----
逆V字配置	Hybrid	-1.50	-1.77	-1.93
	Analysis	-1.38	-1.44	-1.46
片流れ配置	Hybrid	-1.70	-1.81	-1.88
	Analysis	-1.60	-1.81	-1.93

橋脚全体の残留変位

BRB配置形式	試験名	橋脚の残留変位 δ_R/δ_y		
		1波目	2波目	3波目
非制震	Analysis	1.78	----	----
逆V字配置	Hybrid	-0.08	-0.19	-0.32
	Analysis	-0.03	-0.05	-0.06
片流れ配置	Hybrid	-0.09	-0.15	-0.19
	Analysis	0.00	-0.13	-0.22

応答値の急激な増減はない。BRBが制震部材として安定して機能している

BRBの最大軸ひずみ, CID

BRB配置形式	実験種	対応する BRB	BRBの最大軸ひず 限界値 ε_u 応答値 ε_{\max}		CID				限界値	合計
			1波目	2波目	3波目	平均				
逆V字配置	Hybrid	left BRB	0.00651	0.097	0.106	0.111	0.105	0.7	0.314	
		right BRB	0.00760	0.081	0.082	0.084	0.081		0.257	
	Analysis	left BRB	0.00568	0.084	0.085	0.086	0.084		0.252	
		right BRB	0.00847	0.092	0.093	0.094	0.092		0.194	
片流れ配置	Hybrid	-----	0.01308	0.185	0.187	0.189	0.185		0.575	
	Analysis	-----	0.01134	0.170	0.172	0.172	0.171		0.514	

約2倍

大地震3波に耐えることを確認。逆V字配置の方が安全

ハイブリッド実験2(並列載荷システム)のまとめ



- 解析ソフトと実験装置の連携・油圧制御システムの精度向上
- 相似則を考慮したBRBの設計・複数の油圧ジャッキを用いた並列載荷システム開発

- 制震ブレースに必要となる設計諸量の決定を行った。その結果、設計したBRBによって十分な制震効果が得られ、ラーメン橋脚の応答は目標とした部材健全度を満足することを確認した。
- 配置形式の違いによるラーメン橋脚の応答は固有周期と剛性が同等な場合、顕著な差は見られなかった。
- BRBについては配置形式の幾何的条件から**逆V字配置の方がBRBに生じる応答変位は小さくなるためCIDも小さくなる**。
- レベル2地震動を3波入力したBRBは複数回の入力で生じるダメージの蓄積を考慮しても安定した挙動を示すことを確認した。

【参考文献】

制震ブレースを挿入した鋼製ラーメン橋脚の並列ハイブリッド実験システムによる制震性能の検証
渡辺孝一, 篠田将旭, 吉野廣一, 佐藤 大介, 鋼構造論文集 21(82) 75-85 2014年6月

ハイブリッド実験システム開発の歴史

ハイブリッド実験1(プロトタイプシステム)

- 
- 解析ソフトと実験装置の連携・油圧制御などのハイブリッド実験のプロトタイプシステム開発
 - BRBの静的な実験と制震挙動の基本的検証実験

ハイブリッド実験2(並列載荷システム)

- 
- 解析ソフトと実験装置の連携・油圧制御システムの精度向上
 - 相似則を考慮したBRBの設計・複数の油圧ジャッキを用いた並列載荷システム開発

ハイブリッド実験3(パンタグラフ機構再現タイプ)

- 
- BRBの回転変形挙動を再現するためのパンタグラフ機構(平行リンク機構)の開発

ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ)

- BRBと橋脚基部とのガセット接合構造を再現したリアルハイブリッド実験システムの開発

ハイブリッド実験3(パンタグラフ機構再現タイプ)

これまでのBRBを設置したラーメン橋脚の制震効果の検証では、

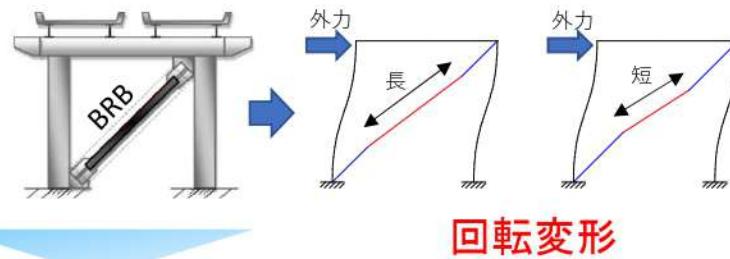
BRB接合部の回転変形が考慮されていない

BRBの端部に生じる回転変形の影響は小さく無視しうることから、制震効果の評価は妥当としてきた

BRBは、斜材全長に対して短いほうが設計上有利で、軽量化可能

しかし、

小型化したBRBをラーメン橋脚に設置する場合、BRB端部の回転変形が大きくなる



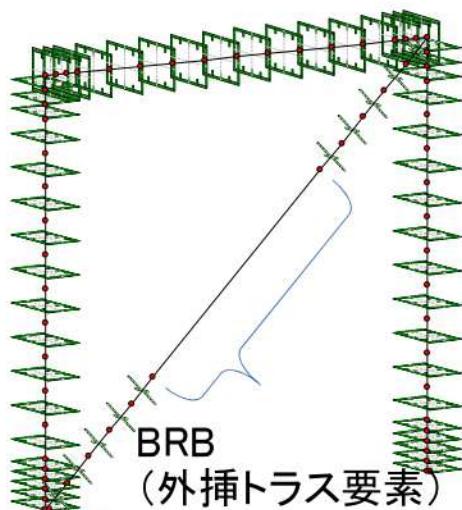
回転変形を考慮したBRBの変形性能の検証

BRBの変形性能の更なる検証

従来の軸心方向載荷に加え回転変形を考慮した載荷システムを構築した

ハイブリッド実験用実験システムのアップグレード

ハイブリッド実験2(並列載荷システム)

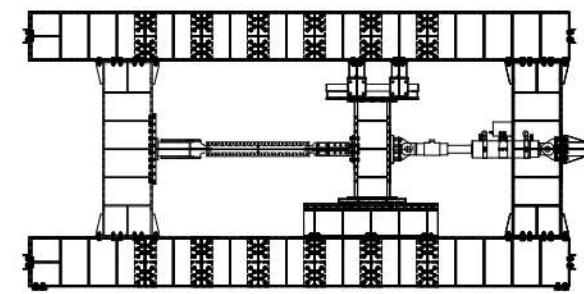


モデルの特徴

- ラーメン橋脚梁・柱断面の厳密な再現
- BRBの接合ブラケットをモデル化
- ブレースの剛性(断面と長さ)を厳密に設計
- BRBの配置形式(片流れ, 逆V字)の影響を考慮

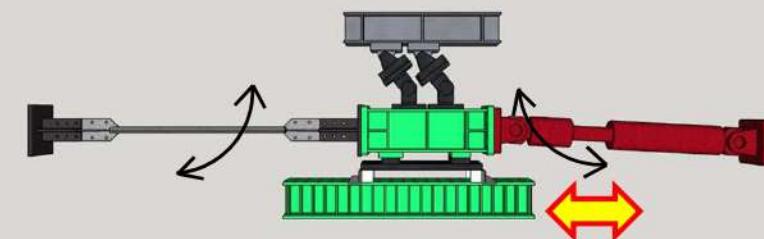
パンタグラフ機構再現タイプへ変更

軸力載荷



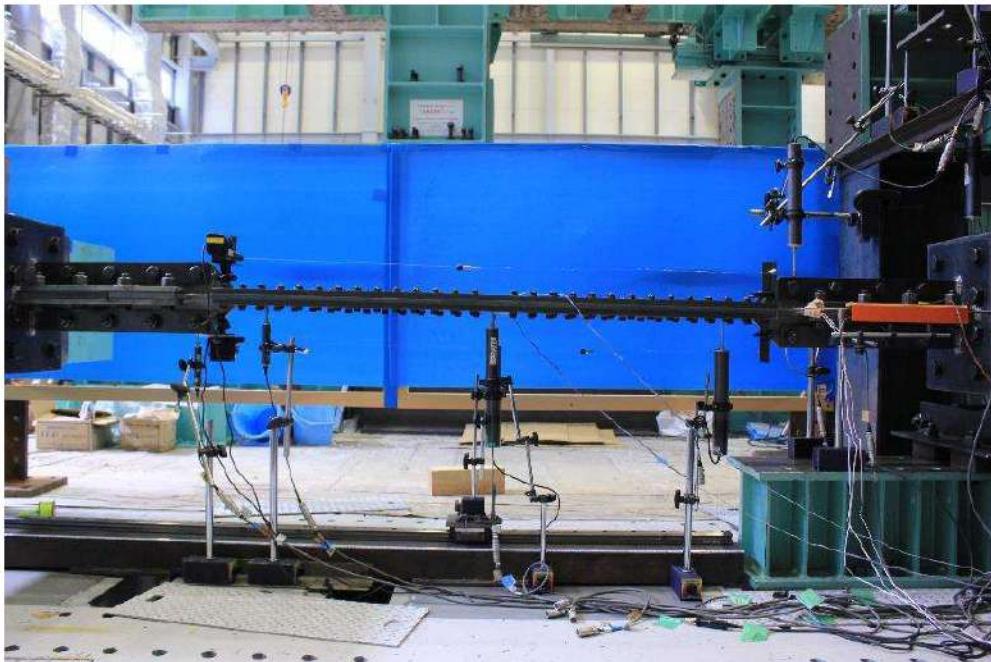
↓ 載荷システムの組み換え

軸力+曲げ

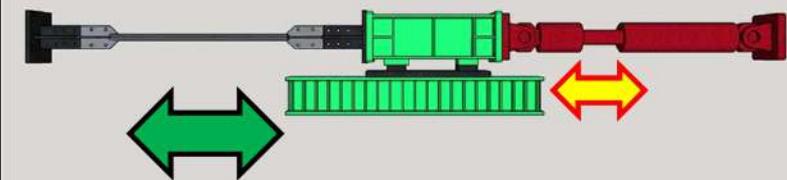


ハイブリッド実験3(パンタグラフ機構再現タイプ)

- BRBの回転変形挙動を再現するためのパンタグラフ機構(平行リンク機構)の開発

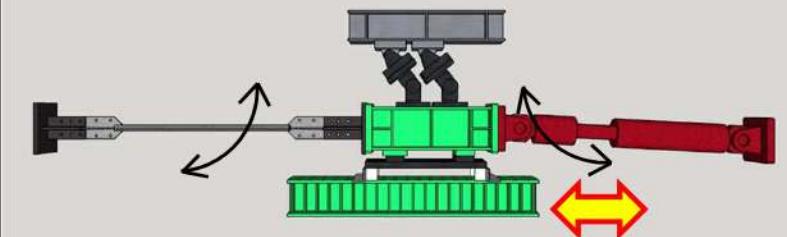


軸力のみ



(Axial Load)

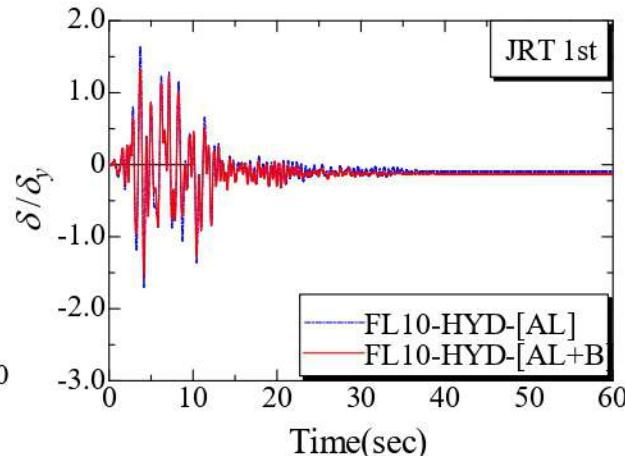
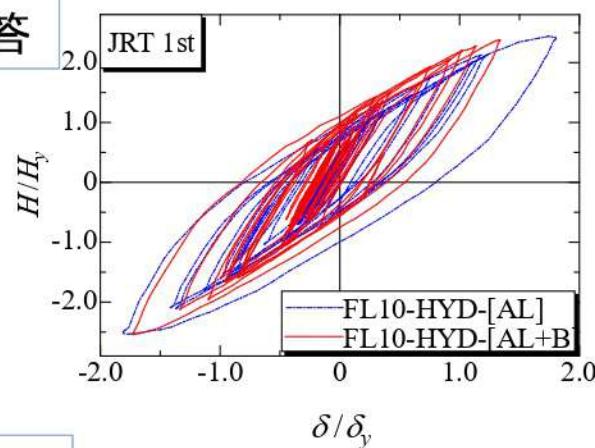
軸力+曲げ



(Axial Load + Bending)

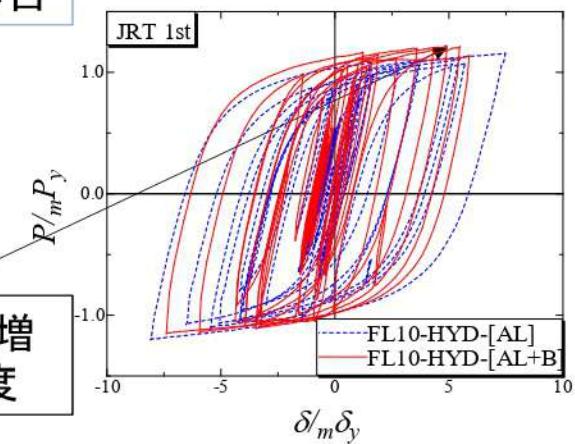
ハイブリッド実験3(パンタグラフ機構再現タイプ)の 載荷機構の地震応答(ハイブリッド実験)結果

橋脚の応答

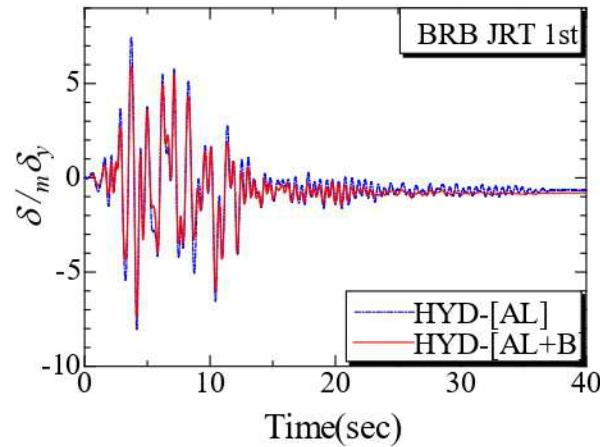


今回用いた地震動(JRT)の
応答範囲内で、二つの実験
結果は似た履歴を示した

BRBの応答



BRBの軸力増
加は4%程度



付加曲げを考慮した実験によ
り、BRBを設置した橋脚の制
震性能を確認した

ハイブリッド実験3(パンタグラフ機構再現タイプ)まとめ



- BRBの回転変形挙動を再現するための
パンタグラフ機構(平行リンク機構)の開発

- 軸力と曲げを考慮した場合、入力した地震動の応答の範囲内で**軸力の増加は4%程度**であり、BRBの端部に生じる回転変形の影響は小さい。曲げを考慮した実験において得られる荷重一変位履歴は従来の曲げを考慮しない結果とおよそ一致した。
- ハイブリッド実験応答値は部材健全度2の照査値に収まることを確認した

【参考文献】

鋼製ラーメン橋脚の層間変形を考慮した高機能座屈拘束プレースの変形性能に関する実験的検証
渡辺孝一, 佐藤大介, 石田真士, 吉野廣一, 鋼構造論文集 Vol.22(No.85) 143-151 2015年



実験装置の制御が複雑であること、計測したBRBの軸力が
高めに評価されたことの更なる検証が必要

ハイブリッド実験システム開発の歴史

ハイブリッド実験1(プロトタイプシステム)



- 解析ソフトと実験装置の連携・油圧制御などのハイブリッド実験のプロトタイプシステム開発
- BRBの静的な実験と制震挙動の基本的検証実験

ハイブリッド実験2(並列載荷システム)



- 解析ソフトと実験装置の連携・油圧制御システムの精度向上
- 相似則を考慮したBRBの設計・複数の油圧ジャッキを用いた並列載荷システム開発

ハイブリッド実験3(パンタグラフ機構再現タイプ)



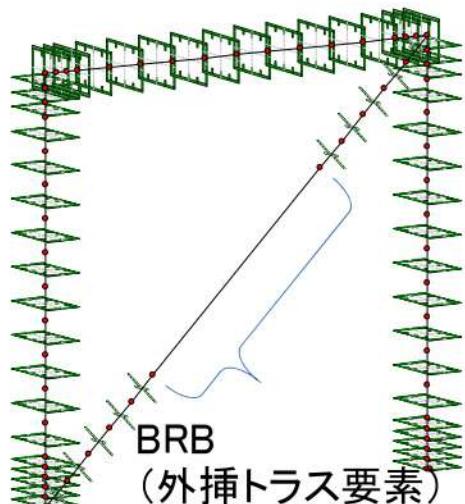
- BRBの回転変形挙動を再現するためのパンタグラフ機構(平行リンク機構)の開発

ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ)

- BRBと橋脚基部とのガセット接合構造を再現したリアルハイブリッド実験システムの開発

ハイブリッド実験用解析モデルのアップグレード

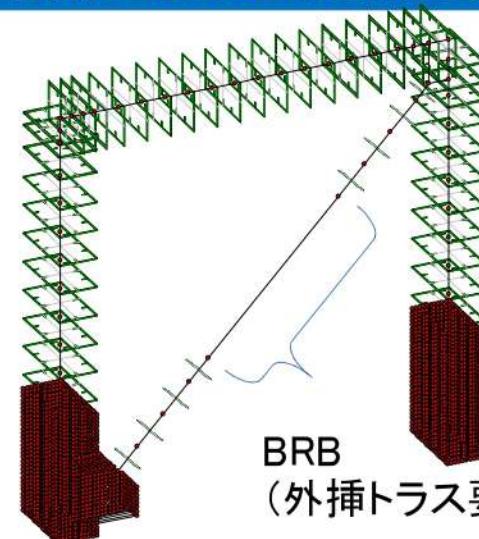
ハイブリッド実験2(並列載荷システム)



モデルの特徴

ラーメン橋脚梁・柱断面の厳密な再現
BRBの接合ブラケットをモデル化
ブレースの剛性(断面と長さ)を厳密に設計
BRBの配置形式(片流れ, 逆V字)の影響を考慮

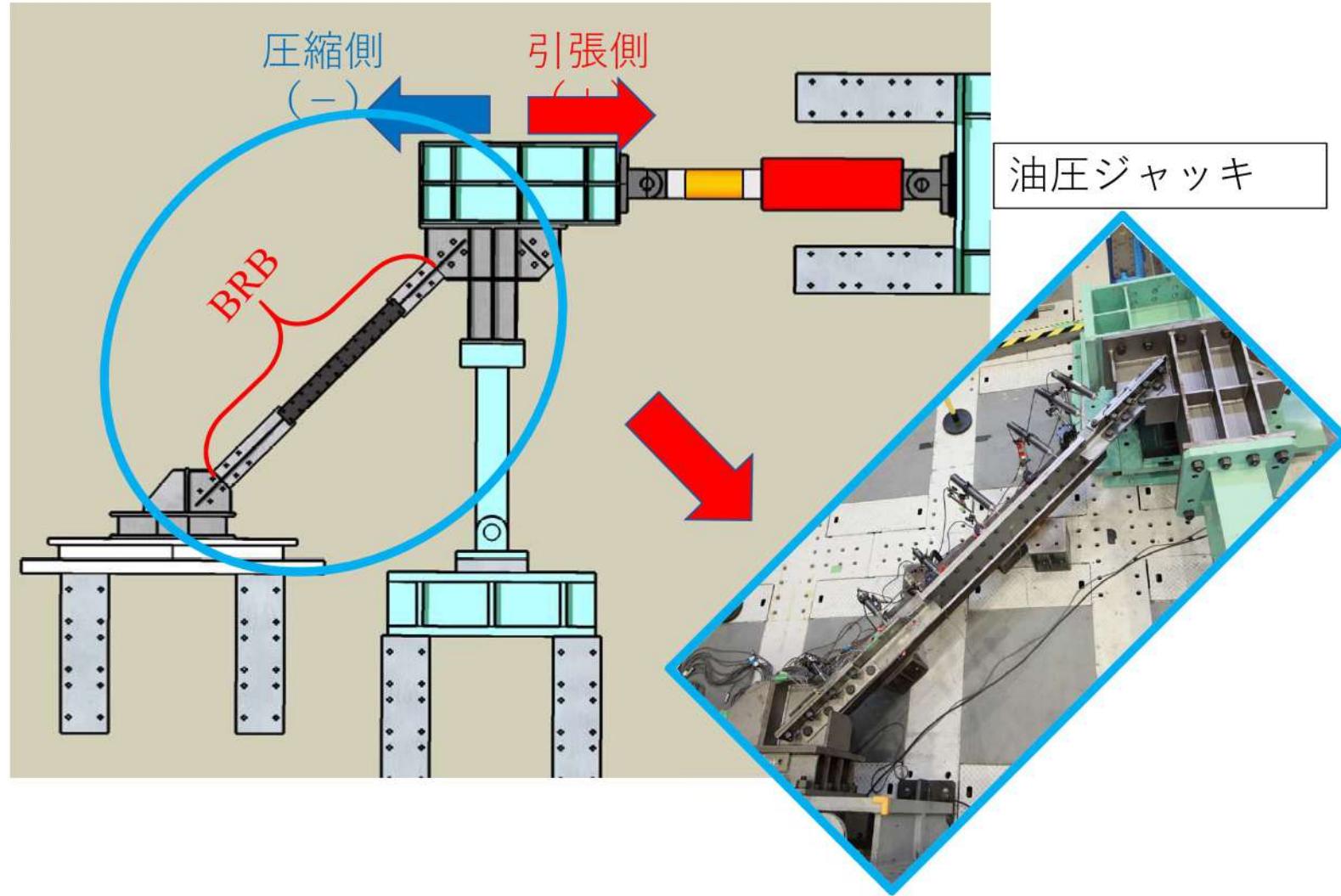
ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ)



モデルの特徴

ラーメン橋脚梁・柱断面の厳密な再現
BRBの接合ブラケットと基部ガセットをモデル化
ブレースの剛性(断面と長さ)を厳密に設計

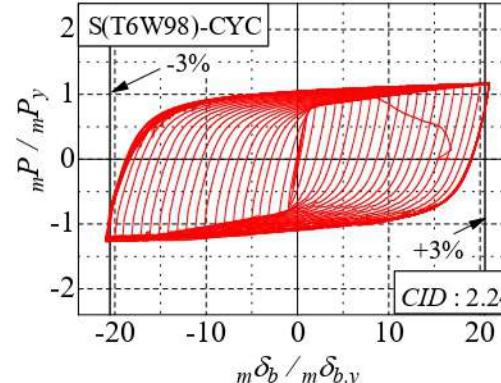
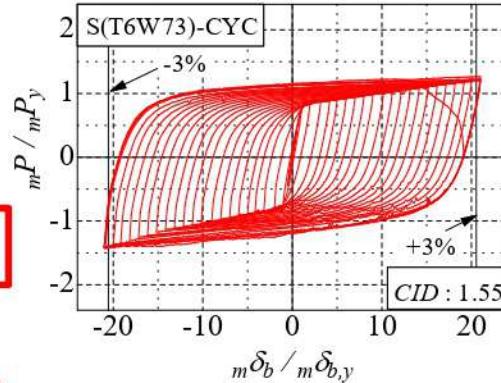
ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ)実験装置



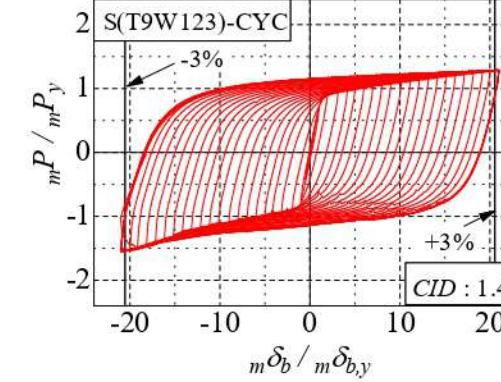
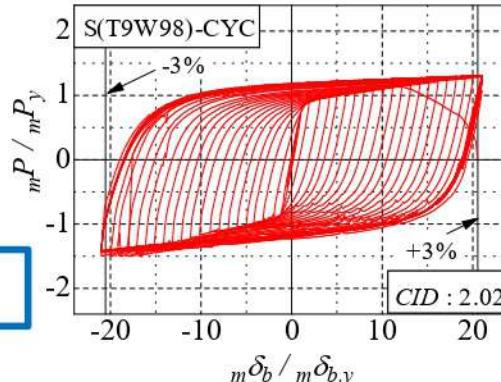
ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ) 静的実験結果

静的繰り返し載荷実験結果

厚さ6mm



厚さ9mm



要求性能

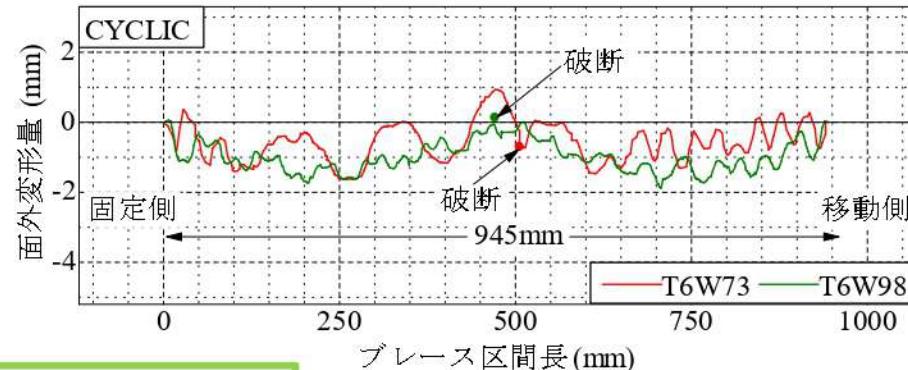
最大軸ひずみ : 3% CID : 0.7

満足することを確認

ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ)静的実験結果

繰り返し載荷実験終了後のBRB変形状況

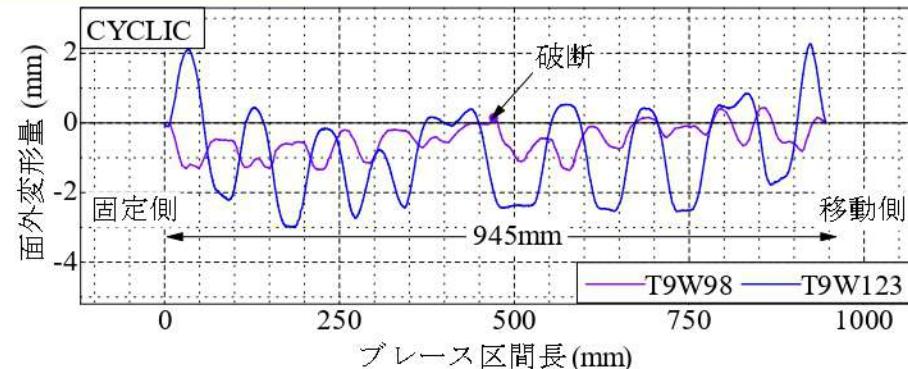
厚さ6mm



板厚 小
板厚 大

波長 短
波長 長

厚さ9mm



S(T6W73)-CYC



S(T6W98)-CYC



S(T9W98)-CYC

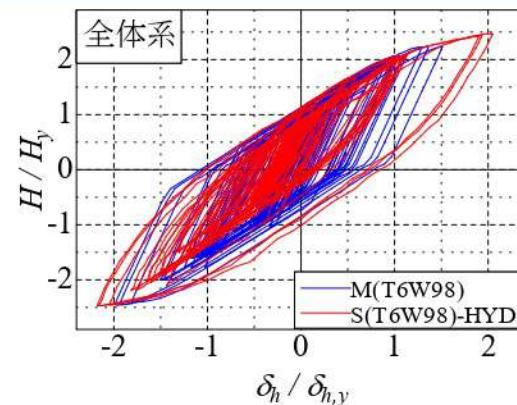
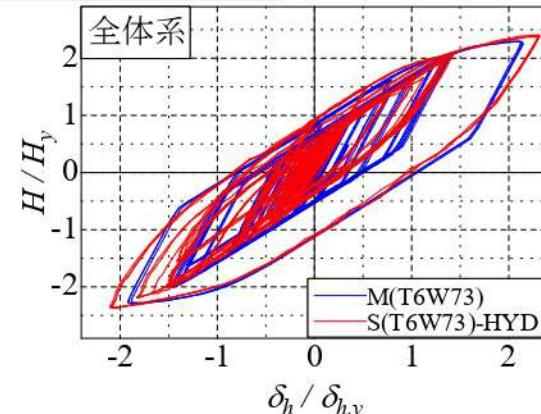


S(T9W123)-CYC

ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ)実験結果

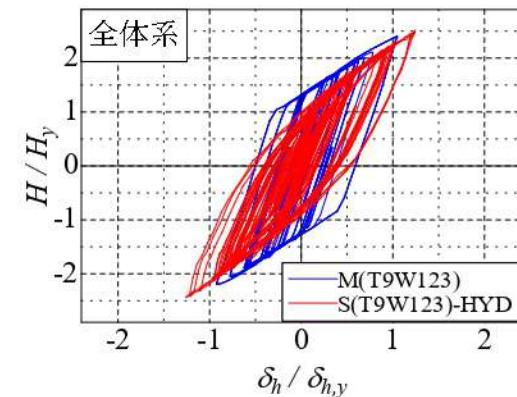
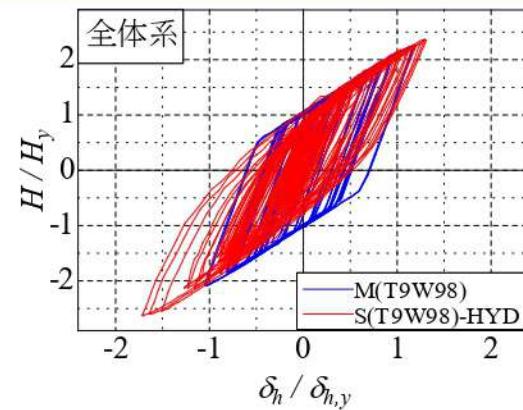
ハイブリッド実験結果

厚さ 6mm



BRBの軸剛性が高い程応答は小さくなる

厚さ 9mm



ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ)まとめ

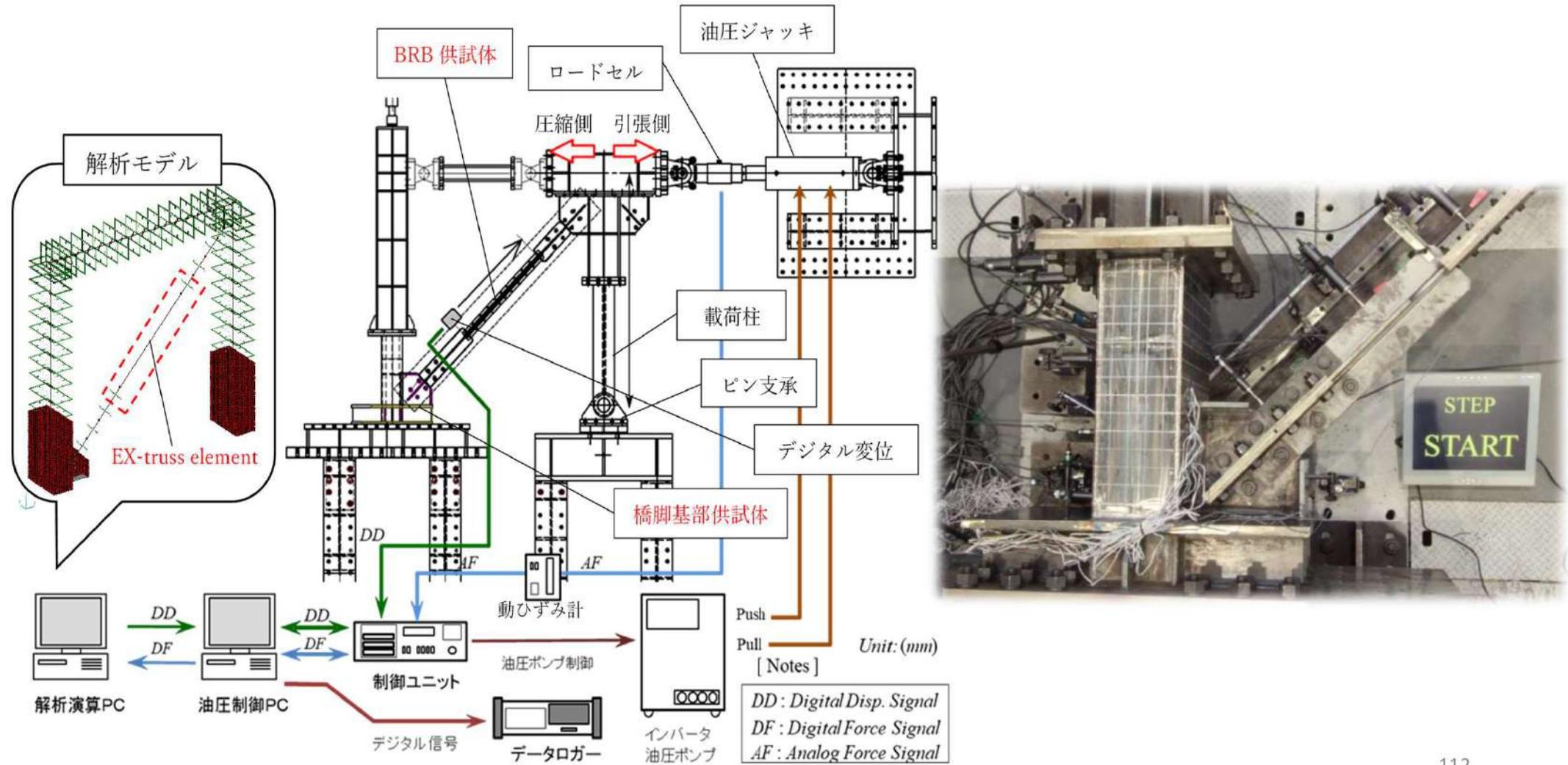
接合部を模擬した軸剛性の異なるBRBの
繰り返し載荷実験およびハイブリッド実験

- ブレース芯材の断面積を4通りに変化させたBRBの繰り返し載荷実験を行い、BRBの要求性能である軸ひずみ3%と $CID>0.7$ を満足することを確認した。
- 予備解析より橋脚の最大応答変位は大きくなつたが、予測通りの制震効果が得られた。
- BRBの断面積が大きくなり剛性が高くなることで、全体系のエネルギー吸収量は小さくなつた。

【参考文献】

座屈拘束ブレースを付与した鋼製ラーメン橋脚のハイブリッド実験による制震効果の検証
渡辺 孝一, 石田 真士, 構造工学論文集 A 63 315-328 2017年

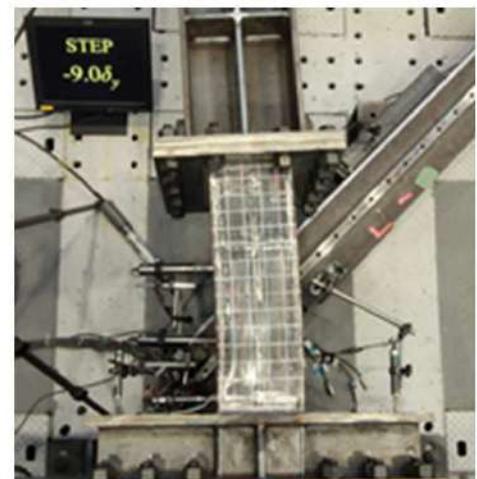
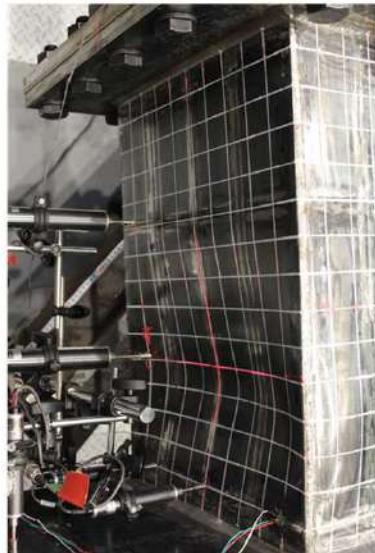
ハイブリッド実験用実験システムのアップグレード



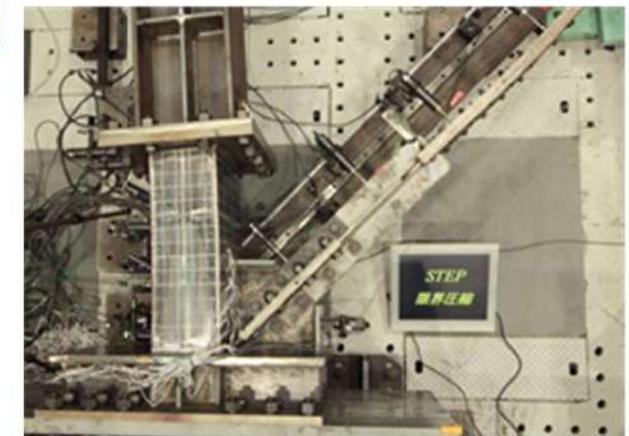
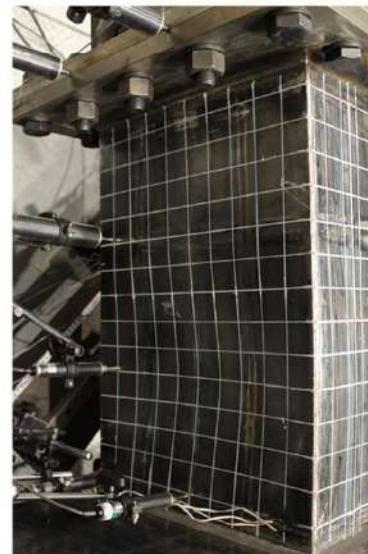
ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ)実験結果

最大応答時の実験供試体状況

非制震モデル

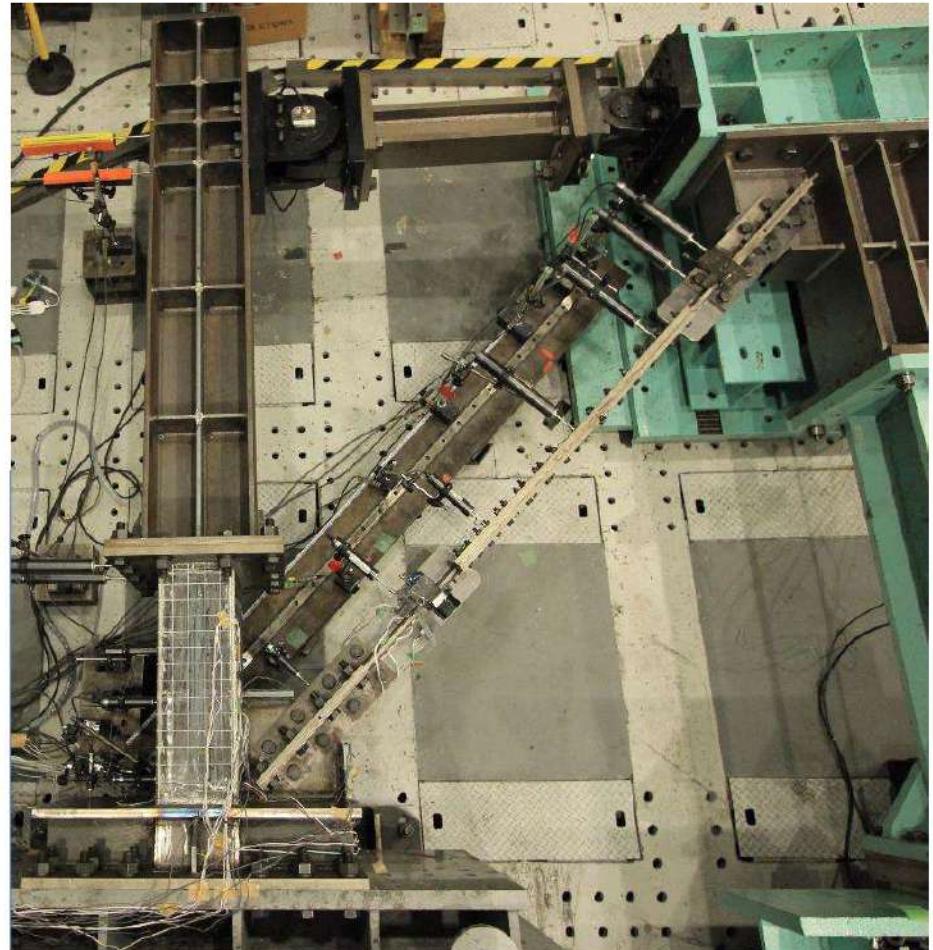
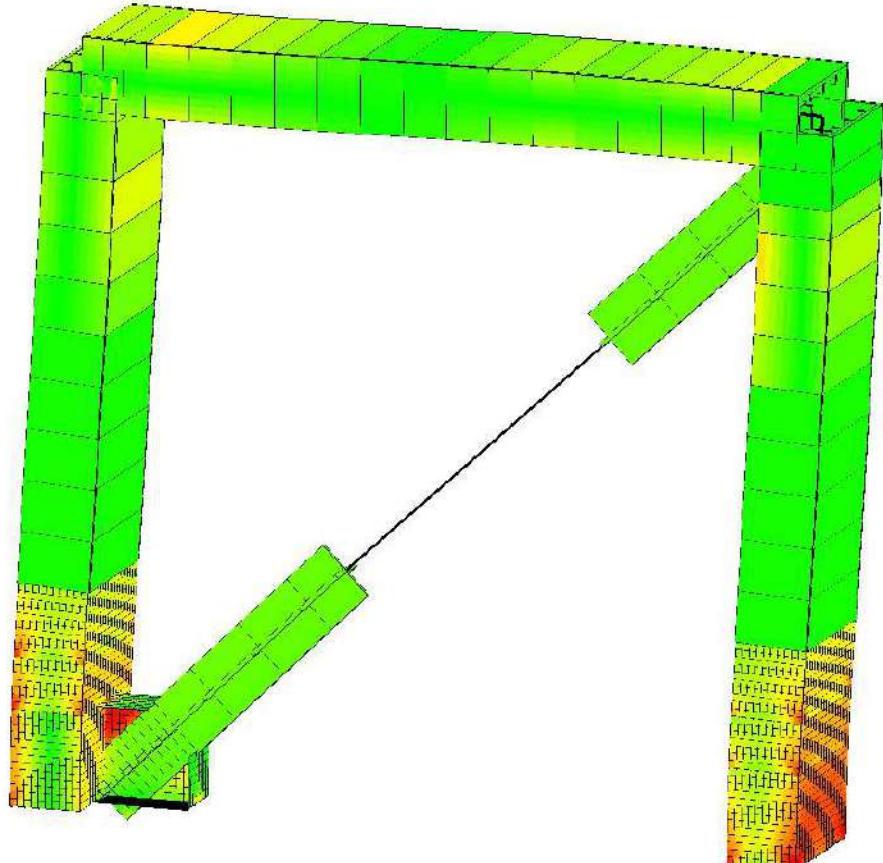


制震モデル



ダイヤフラム高さの半分の高さで局部座屈

ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ)実験状況



BRBに対して引張力が作用している状態

ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ)実験結果

BRBと橋脚基部を模擬したハイブリッド実験結果

まとめ

- ラーメン橋脚の基部にガセットによりBRB接合し、制震構造化した。
- 制震化したラーメン橋脚には、BRB付与による剛性増加により、地震応答時の応答は小さくなるが、**基部接合部、ガセット補剛リブへの応力が大きいことに留意する。**
- BRBを接合するブラケット(ガセット)構造をモデル化し、静的な繰り返し実験や、地震時応答に踏み込んで制震性能を照査することが重要である。

【参考文献】

偏心軸力を受ける座屈拘束プレースのハイブリッド地震応答実験

渡辺 孝一, 石田 真士, 鋼構造論文集 24(95) 95_1-95_11 2017年

座屈拘束プレースで制震化した鋼製ラーメン橋脚の変形性能（査読付）

渡辺孝一, 浅井駿弥, 石田真士, 鋼構造論文集 Vol.26(No.101) 57-67 2019年3月

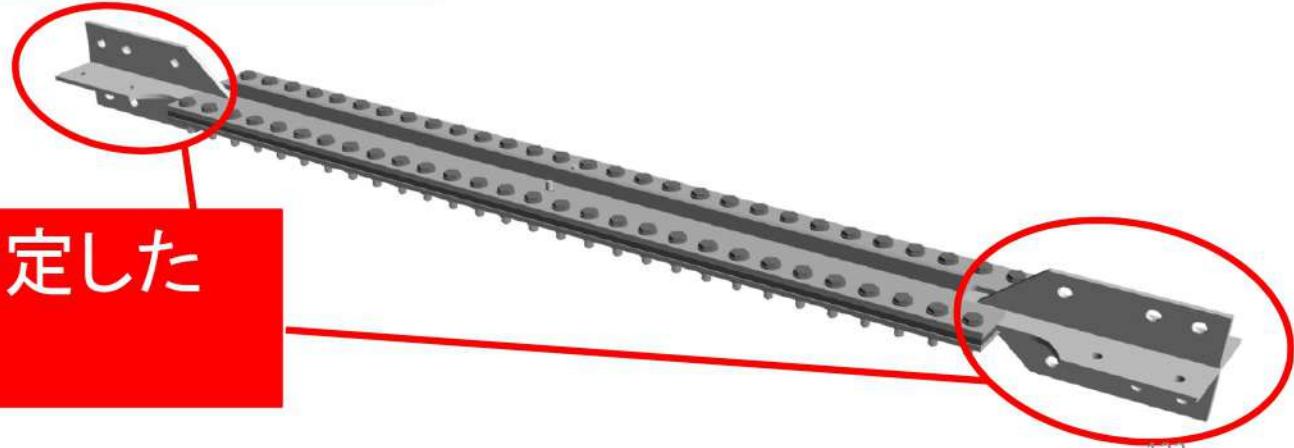
制震ダンパーを実用的なレベルに引き上げるためには、 どのような検討必要か？

土木構造に適用した制震ダンパーの要求性能

1. 安定した履歴特性を持ち、高いエネルギー吸収能を持つ。
2. 変形能力が大きい。
3. 低サイクル疲労強度が大きい。
4. 高い耐久性を持つ。
5. 製作が容易で安価である。
6. 取り替えが容易に出来る、あるいは取り替えが不要である。



BRBの支持部(継手)が安定した
構造であることが重要



制震ダンパーを実用的なレベルに引き上げるためには、どのような検討必要か？

ハイブリッド実験1(プロトタイプシステム)

- 解析ソフトと実験装置の連携・油圧制御などのハイブリッド実験のプロトタイプシステム開発
- BRBの静的な実験と制震拳動の基本的検証実験

ハイブリッド実験2(並列載荷システム)

- 解析ソフトと実験装置の連携・油圧制御システムの精度向上
- 相似則を考慮したBRBの設計・複数の油圧ジャッキを用いた並列載荷システム開発

ハイブリッド実験3(パンタグラフ機構再現タイプ)

- BRBの回転変形拳動を再現するためのパンタグラフ機構(平行リンク機構)の開発

ハイブリッド実験4(スウェイ機構再現タイプ)

- BRBと橋脚基部とのガセット接合構造を再現したリアルハイブリッド実験システムの開発

BRBのダンパーとしての性能は実験的に実証された。
しかし、それは、ダンパー接合部が保証された上で担保される。

制震ダンパーを実用的なレベルに引き上げるためには、 どのような検討必要か？（結論）

①BRBの設計を行う

全体座屈発生防止条件

$$\nu_F \geq 3.0$$

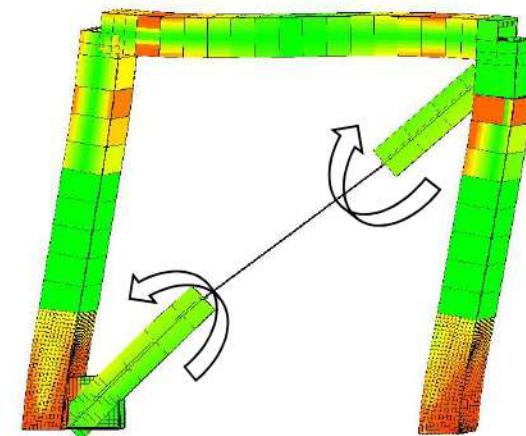
$$\nu_F = \frac{1}{\frac{P_y}{P_E^R} + \left(\frac{P_y L}{M_y^R} \right) \cdot \frac{a + d + e}{L}} \quad \text{nominal}$$

②BRBによる制震化した構造物の応答を予想する。

③取り換え可能なBRB接合部の設計を行う

- ・接合時の取り付け精度を確保する
- ・面内方向、面外方向に限定せず厳しい変形（外力）を考慮する

④ハイブリッド実験（静的載荷）によって地震応答時の性能照査を行う



ダンパー自身は正しく設計（製造）されていれば性能は保証される。
ダンパーを主体とした性能照査ではなく、
接合部を含めた構造の（不測の）応答時の性能照査が重要

講演内容

1) 制震ダンパーに求める性能とは？



- 高機能制震ダンパー設計に求めものは何か.
- 静的繰り返し実験による検証結果

2) ハイブリッド実験システムの開発とダンパーに 着目した地震応答実験結果の評価



- ハイブリッド実験システム(解析モデル+実験装置)改善のこれまで

3) ハイブリッド実験システムの今後

- ハイブリッド実験システムの適用が優位な事象は何か

ハイブリッド実験システムの今後

●ハイブリッド実験システムの適用が優位な事象は何か

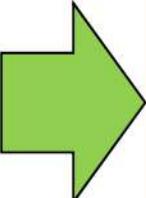
①維持管理・修繕を見据えた事象への対応

- ・ 数値モデル化が困難なダメージ(腐食, 火災損傷)が蓄積したダンパーの残存地震時応答特性の把握
- ・ 支承部の落橋防止システムなどを対象とした、複合的な変形や破壊により挙動の予測が困難な構造部材の地震時挙動の把握

②材料や複合材料の対応

- ・ 応力一ひずみ関係が複雑な構造材料を対象とした構造部材の応答特性(構成則)の把握

ハイブリッド実験を含め構造実験では何らかの結果が得られる。一般にそれが、真実のように扱われるが、

複雑な実験になるほど、得られた結果の確からしさをどのように検証するか、別の視点から同等の結果を誘導できるか？
を追求することが課題