

TOP構造体 最後の検証

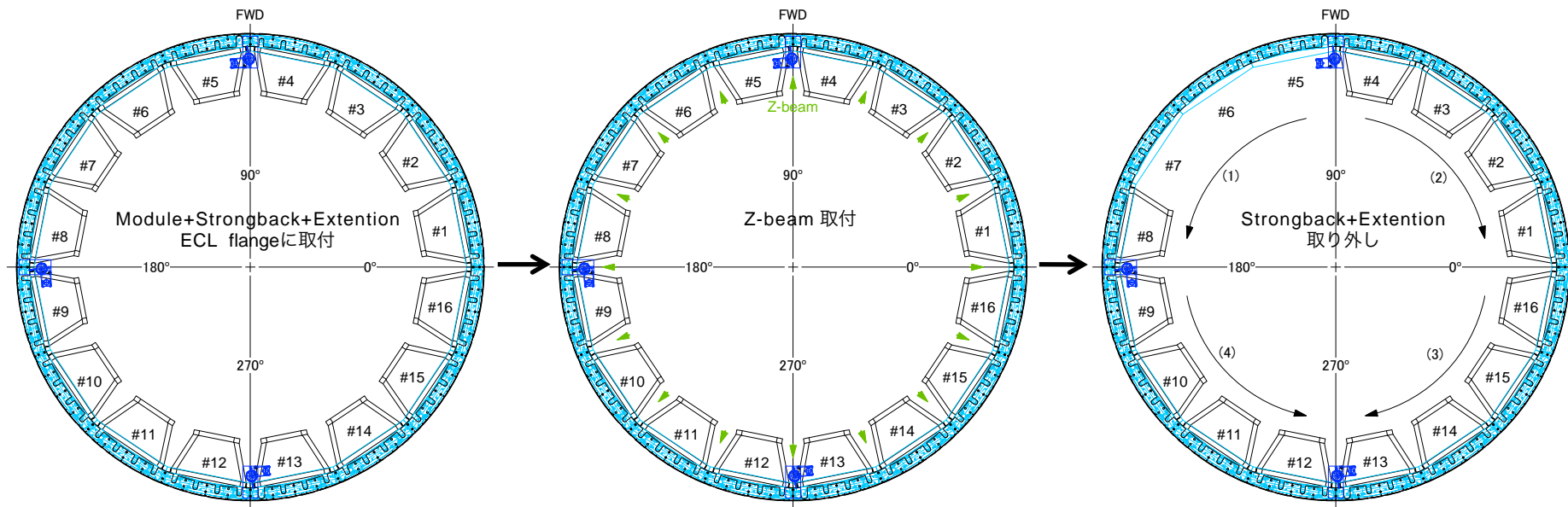
高エネルギー加速器研究機構

高力 孝

平成28年7月22日

TOP構造体 最後の検証

- TOP構造体は、ECL flangeに取り付けられた16台のモジュールの隣同士を金具 (Z-beam) で固定して一体の円筒構造になった時に、初めて十分な剛性が確保される構造。
- 事前の解析では、変形は最大0.1mm以下と見積もられている。ただし、既に取り付けられたモジュールの形状からの変形なので、事前にストロングバックでモジュール単体を補強して初期の変形を小さくしておく必要がある。



TOP構造体 最後の検証

- TOP構造体の剛性が確保されているかどうかは、ストロングバックを外す前と後でモジュールの変形量を測定すれば検証できる。そこで、パイプをECL flange両端で固定し、それにダイヤルゲージをモジュールの中心と両端に取付けて測定して検証した。
- パイプは最大の変形が予想される 90° と 270° 及び、一番変形が少ないと予想される 180° の3か所に取り付けた。また、 90° と 270° の中心はリニアゲージとデータロガーで長期的な記録を行った。
- 測定系の事前検証のため、Z-beamを取り付ける時も測定した。

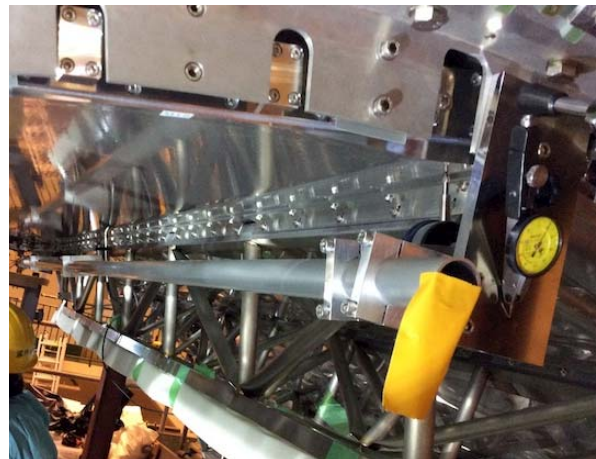
TOP構造体 最後の検証

測定方法

- パイプをECL flangeの両端に固定。
- パイプにダイヤルゲージ及びリニアゲージを固定。中央とフォワード側はECL flangeから20mm程度、バックワード側はECL flangeから300mm程度内側
- Z-beamの取付に支障がないようにストロングバックの内側に配置。パイプが組み込まれたストロングバックを外す時は、事前に隣のモジュールに移す。



90°
FWD側から見る



90°
FWD側から見る



180°
BWD側から見る

TOP構造体 最後の検証

(1) Z-beamの取付(20160512)

Z-beamの取付の順番は、表にあるように90°(真上)から左右交互に下へ進め、最後は270°(真下)を取り付けた。

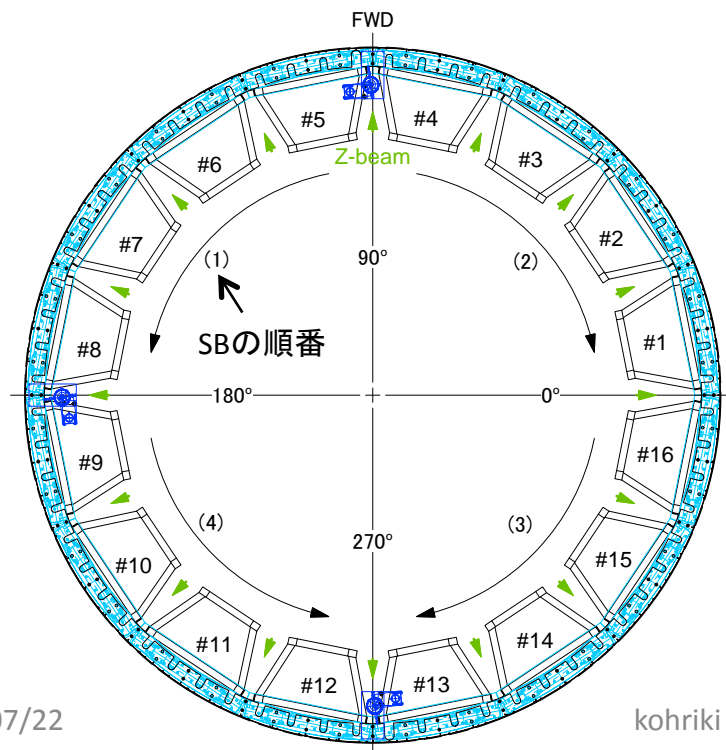
(2) ストロングバックの取外し

#5→#6→#7→#8 (20160513)

#4→#3→#2→#1 (20160516)

#16→#15→#14→#13 (20160518~19)

#9→#10→#11→#12 (20160520)



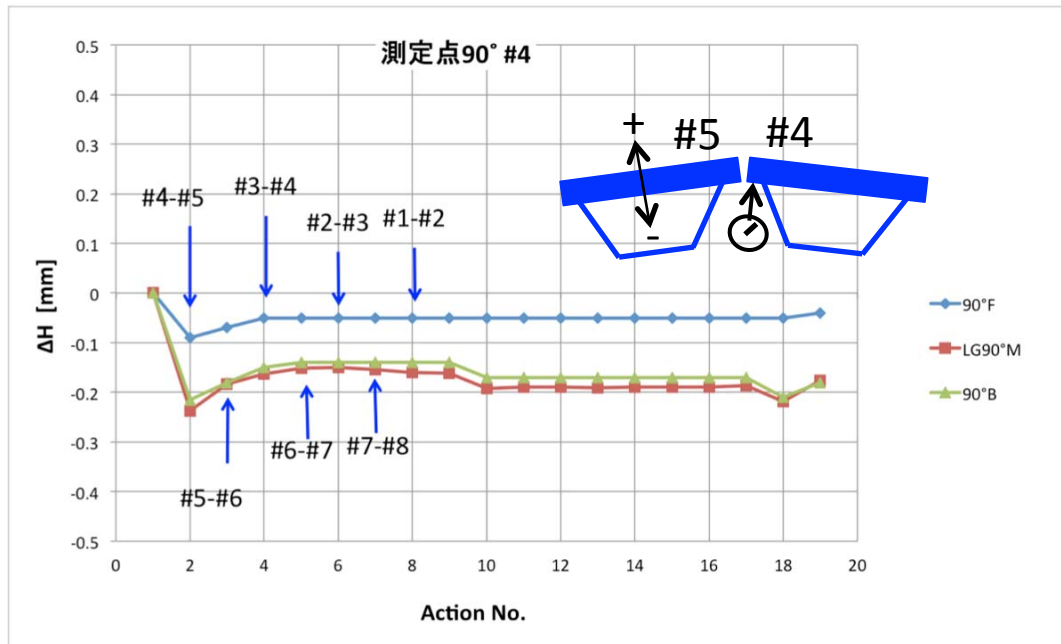
作業項目	Action
Z-beam取付前	1
Z-beam90°	2
Z-beam112.5°	3
Z-beam67.5°	4
Z-beam135°	5
Z-beam45°	6
Z-beam157.5°	7
Z-beam22.5°	8
Z-beam180°	9
Z-beam0°	10
Z-beam202.5°	11
Z-beam337.5°	12
Z-beam225°	13
Z-beam315°	14
Z-beam247.5°	15
Z-beam292.5°	16
Z-beam270°	17
14時間後	18
SB取外し前	19

作業項目	Action
SB取り外し前測定	20
SB#5取り外し後	21
90° ジグ場所#4から#5へ変更後前測定	22
SB#6取り外し後	23
前測定	24
SB#7取り外し後	25
SB#8取り外し後	26
45時間後	27
ストレインゲージ追加後前測定	28
SB#4取り外し後	29
90° 治具再取り付け後前測定	30
SB#3取り外し後	31
SB取り外し前測定	32
SB#2取り外し後	33
SB取り外し前測定	34
SB#1取り外し後	35
治具に当たった	36
地震の11.5時間後	37
90° 調査後再設定	38
昨日のまま	39
	40
SB取り外し前測定	41
SB#16取り外し後	42
SB取り外し前測定	43
SB#15取り外し後	44
	45
	46
270°のパイプの下にベローズパイプが挟まっていた	47
SB取り外し前測定	48
SB#14取り外し後	49
270°のLGのケーブルが干渉していた	50
SB取り外し前測定	51
SB#13取り外し後	52
180°と270°を#9→#8、#12→#13に変更	53
SB取り外し前測定	54
90°当たったのを確認後前測定	55
SB#9取り外し後	56
180°治具取り外し取り付け	57
SB#10取り外し前	58
SB#10取り外し後	59
270°LGにウレタンがかぶっていたのを処理後前測定	60
SB#11取り外し後	61
SB取り外し前測定	62
SB#12取り外し後	63

TOP構造体 最後の検証

Z-beam取付時の測定結果(測定点90° #4)

- Action 2で#4が下がったのは、#4が#5がより上にあって、Z-beamをボルト締めした時に引き下げられたと思われる。#5は逆に0.2mm位引き上げられているはずである。全てのモジュールにはECL flangeの穴位置誤差による何らかのズレがあるので、この現象は避けられない。
- Action 3は#5が#6により引き上げられ#4も連動したか、逆に#5が下がって回転して#4を押し上げたかどちらか。Action 4も同様な現象と思われる。
- 90°Fの変位が小さいのは固定端に近いため。

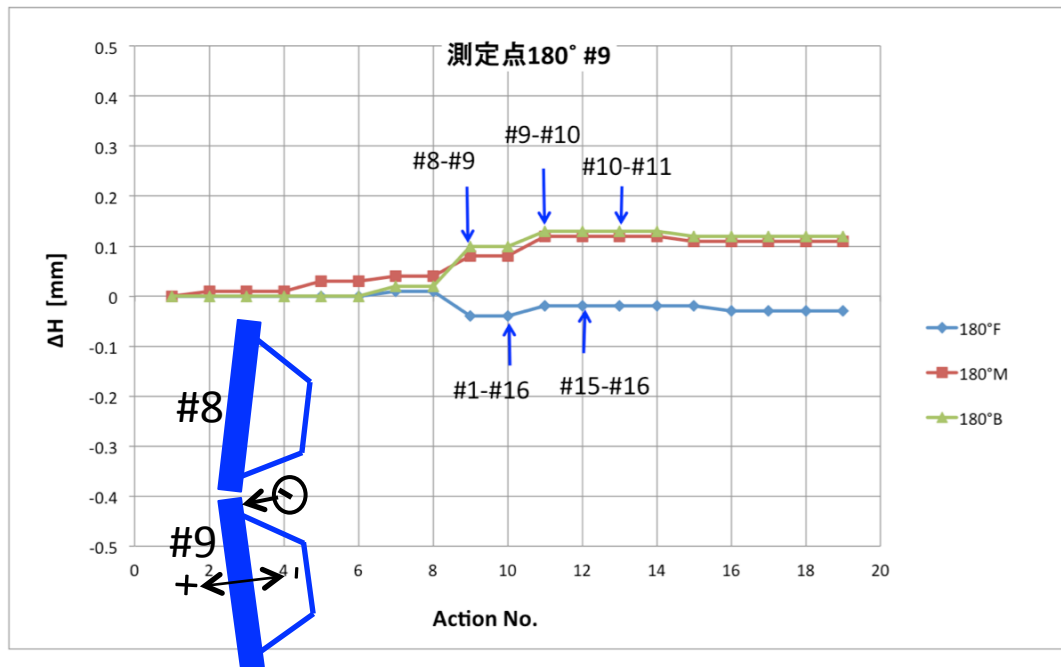


作業項目	Action	Z-beam0°	
Z-beam取付前	1	Z-beam202.5°	10
Z-beam90°	2	Z-beam337.5°	11
Z-beam112.5°	3	Z-beam225°	12
Z-beam67.5°	4	Z-beam315°	13
Z-beam135°	5	Z-beam247.5°	14
Z-beam45°	6	Z-beam292.5°	15
Z-beam157.5°	7	Z-beam270°	16
Z-beam22.5°	8	14時間後	17
Z-beam180°	9	SB取外し前	18
			19

TOP構造体 最後の検証

Z-beam取付時の測定結果(測定点180°#9)

- Action9の180°FはM、Bと逆向きなので、#8と#9は捻れた姿勢になっていたと思われる。
- Action11は#10により#9全体が左側に移動させられたか、#10側が右に移動して、回転によりに左側に移動したかどちらか。
- 180°Fの変位が小さいのは固定端に近いから。

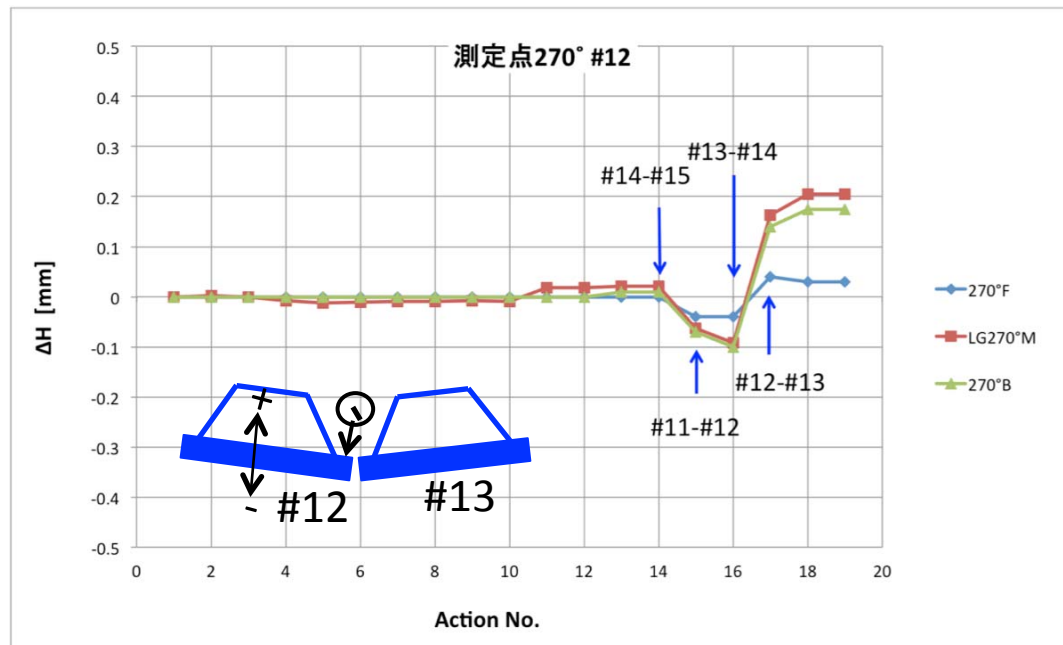


作業項目	Action	Z-beam0°	
Z-beam取付前	1	Z-beam202.5°	10
Z-beam90°	2	Z-beam337.5°	12
Z-beam112.5°	3	Z-beam225°	13
Z-beam67.5	4	Z-beam315°	14
Z-beam135°	5	Z-beam247.5°	15
Z-beam45°	6	Z-beam292.5°	16
Z-beam157.5°	7	Z-beam270°	17
Z-beam22.5°	8	14時間後	18
Z-beam180°	9	SB取外し前	19

TOP構造体 最後の検証

Z-beam取付時の測定結果(測定点270° #12)

- Action17は明らかに#12が#13に引き上げられているのがわかる。
- Action15は#11により#12全体が引き下げられたか、#11側が上に移動して、回転により下に移動したかどちらか。
- 270°Fの変位が小さいのは固定端に近いから。



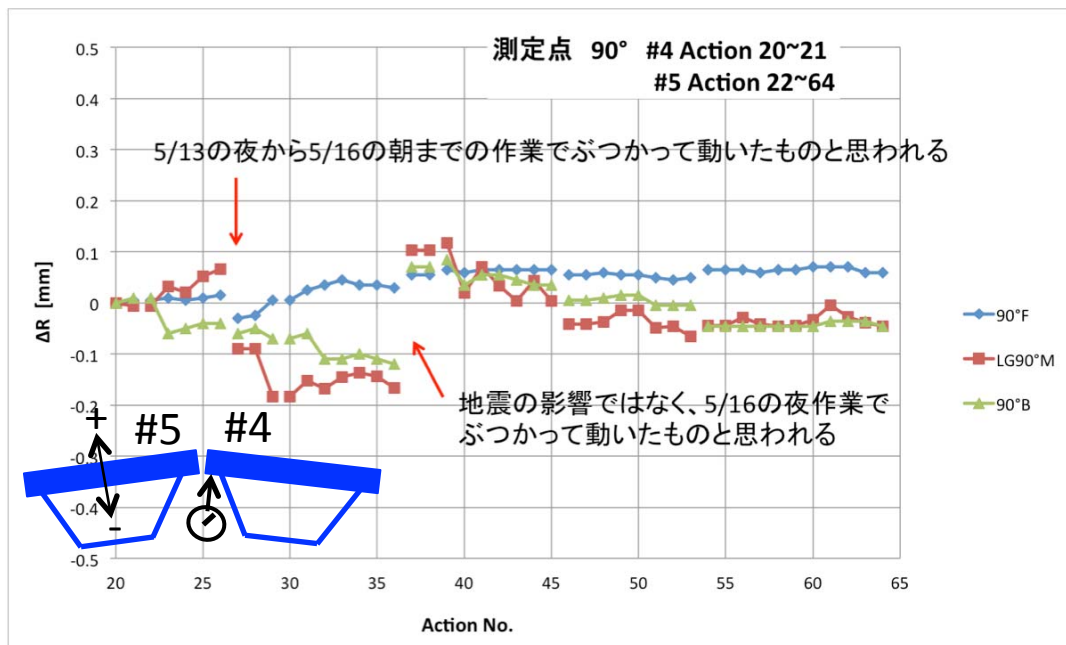
作業項目	Action	Z-beam0°	
Z-beam取付前	1	Z-beam202.5°	10
Z-beam90°	2	Z-beam337.5°	11
Z-beam112.5°	3	Z-beam225°	12
Z-beam67.5	4	Z-beam315°	13
Z-beam135°	5	Z-beam247.5°	14
Z-beam45°	6	Z-beam292.5°	15
Z-beam157.5°	7	Z-beam270°	16
Z-beam22.5°	8	14時間後	17
Z-beam180°	9	SB取外し前	18
			19

TOP構造体 最後の検証

ストロングバック取外し時の測定結果(1)

(測定点90° #4、#5)

- Action27~36までの間に段差が見られるのは夜中や休日に人がぶつかった為にゲージがずれたことが後で判明。
- それでも変位量自体はそれほど多くなく、経時変化もAction46以降は安定している。



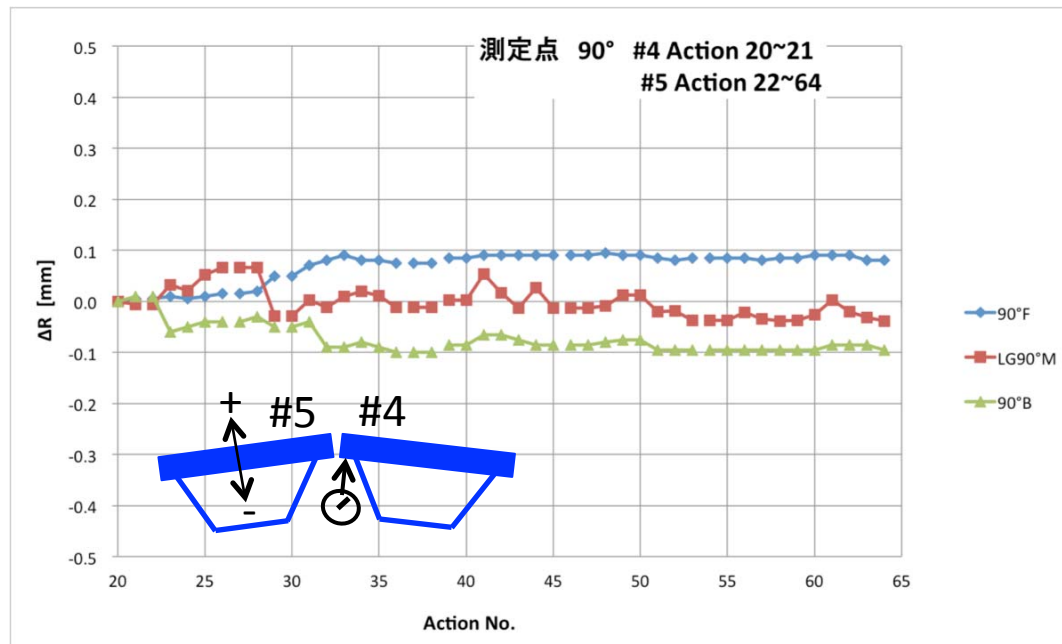
作業項目	Action
SB取り外し前測定	20
SB #5取り外し後	21
90° ジグ場所#4から#5へ変更後前測定	22
SB #6取り外し後	23
前測定	24
SB#7取り外し後	25
SB#8取り外し後	26
45時間後	27
ストレインゲージ追加後前測定	28
SB#4取り外し後	29
90° 治具再取り付け後前測定	30
SB#3取り外し後	31
SB取り外し前測定	32
SB#2取り外し後	33
SB取り外し前測定	34
SB#1取り外し後	35
治具に当たった	36
地震の11.5時間後	37
90° 調査後再設定	38
昨日のまま	39
	40
SB取り外し前測定	41
SB#16取り外し後	42
SB取り外し前測定	43
SB#15取り外し後	44
	45
	46
270°のパイプの下にペローズパイプが挟まっていた	47
SB取り外し前測定	48
SB#14取り外し後	49
270°のLGのケーブルが干渉していた	50
SB取り外し前測定	51
SB#13取り外し後	52
180°と270°を#9→#8、#12→#13に変更	53
SB取り外し前測定	54
90°当たったのを確認後前測定	55
SB#9取り外し後	56
180°治具取り外し取り付け	57
SB#10取り外し前	58
SB#10取り外し後	59
270°LGにウレタンがかぶっていたのを処理後前測定	60
SB#11取り外し後	61
SB取り外し前測定	62
SB#12取り外し後	63

TOP構造体 最後の検証

ストロングバック取外し時の測定結果(2)

(測定点90° #4、#5)

- 全体的に変位が時間とともに増加するような兆候は見られないので、ストロングバックを取り外す前後の差を累積してプロットした。
- #5のストロングバックを外しただけでは変化が無かったが(Act.21)、#6、#7を外すと有為な変化が見られる。次は#4、#3でも変化している。それ以降は安定している。



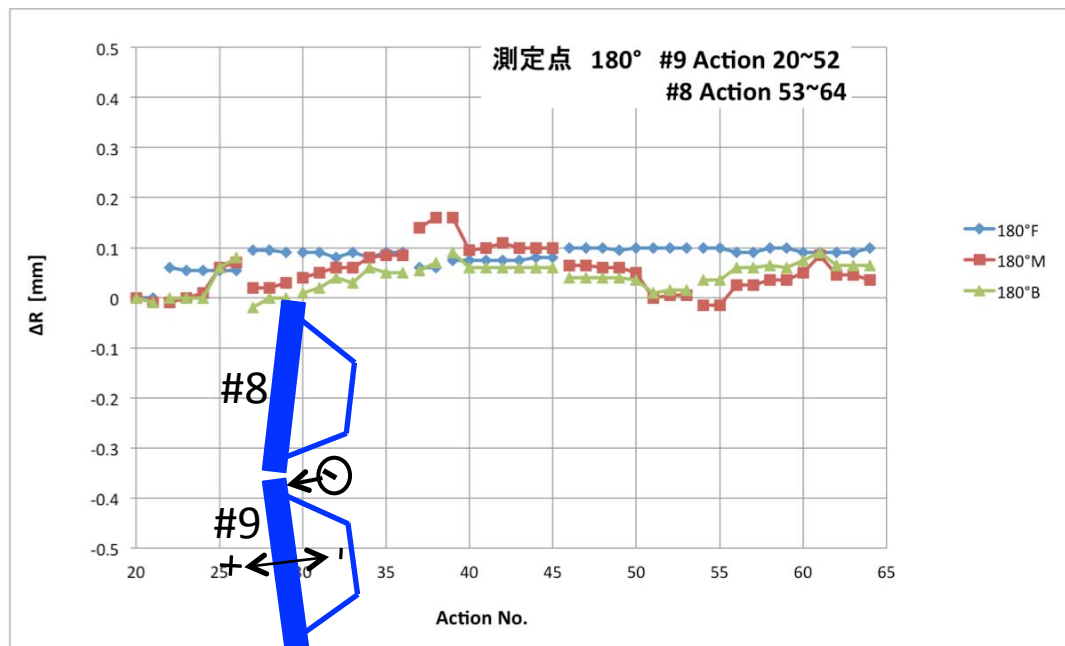
作業項目	Action
SB取り外し前測定	20
SB #5取り外し後	21
90° ジグ場所#4から#5へ変更後前測定	22
SB #6取り外し後	23
前測定	24
SB#7取り外し後	25
SB#8取り外し後	26
45時間後	27
ストレインゲージ追加後前測定	28
SB#4取り外し後	29
90° 治具再取り付け後前測定	30
SB#3取り外し後	31
SB取り外し前測定	32
SB#2取り外し後	33
SB取り外し前測定	34
SB#1取り外し後	35
治具に当たった	36
地震の11.5時間後	37
90° 調査後再設定	38
昨日のまま	39
	40
SB取り外し前測定	41
SB#16取り外し後	42
SB取り外し前測定	43
SB#15取り外し後	44
	45
	46
270°のパイプの下にベローズパイプが挟まっていた	47
SB取り外し前測定	48
SB#14取り外し後	49
270°のLGのケーブルが干渉していた	50
SB取り外し前測定	51
SB#13取り外し後	52
180°と270°を#9→#8、#12→#13に変更	53
SB取り外し前測定	54
90°当たったのを確認後前測定	55
SB#9取り外し後	56
180°治具取り外し取り付け	57
SB#10取り外し前	58
SB#10取り外し後	59
270°LGにウレタンがかぶっていたのを処理後前測定	60
SB#11取り外し後	61
SB取り外し前測定	62
SB#12取り外し後	63

TOP構造体 最後の検証

ストロングバック取外し時の測定結果

(測定点180° #9、#8)

- 多少の段差が見られるが、影響は小さいので累積値との比較はしない。
- 変位量はそれほど多くなく、安定している。

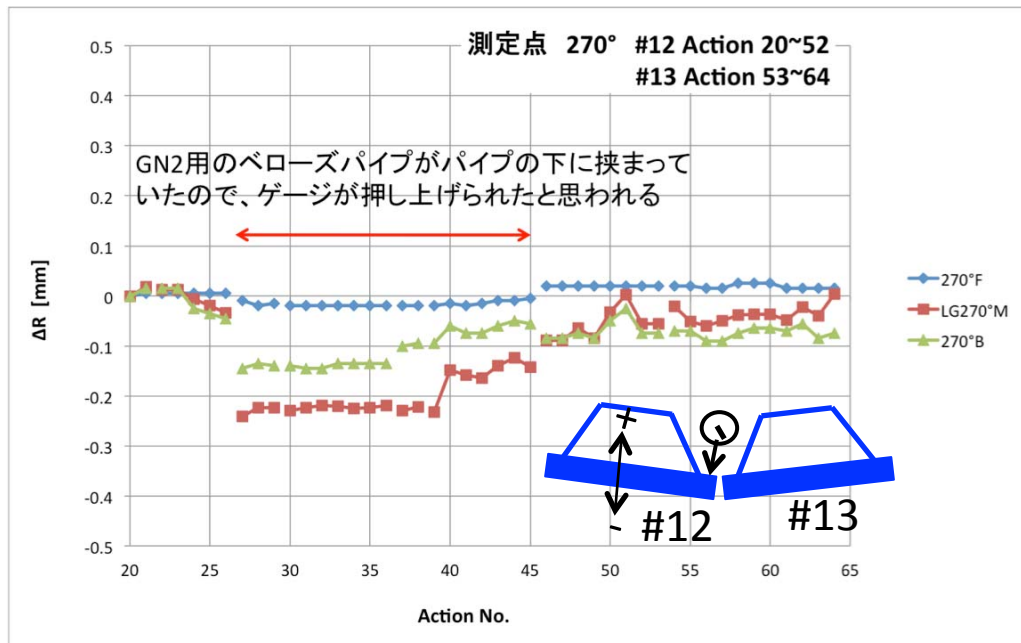


作業項目	Action
SB取り外し前測定	20
SB #5取り外し後	21
90° ジグ場所#4から#5へ変更後前測定	22
SB #6取り外し後	23
前測定	24
SB#7取り外し後	25
SB#8取り外し後	26
45時間後	27
ストレインゲージ追加後前測定	28
SB#4取り外し後	29
90° 治具再取り付け後前測定	30
SB#3取り外し後	31
SB取り外し前測定	32
SB#2取り外し後	33
SB取り外し前測定	34
SB#1取り外し後	35
治具に当たった	36
地震の11.5時間後	37
90° 調査後再設定	38
昨日のまま	39
	40
SB取り外し前測定	41
SB#16取り外し後	42
SB取り外し前測定	43
SB#15取り外し後	44
	45
	46
270°のパイプの下にベローズパイプが挟まっていた	47
SB取り外し前測定	48
SB#14取り外し後	49
270°のLGのケーブルが干渉していた	50
SB取り外し前測定	51
SB#13取り外し後	52
180°と270°を#9→#8、#12→#13に変更	53
SB取り外し前測定	54
90°当たったのを確認後前測定	55
SB#9取り外し後	56
180°治具取り外し取り付け	57
SB#10取り外し前	58
SB#10取り外し後	59
270°LGにウレタンがかぶっていたのを処理後前測定	60
SB#11取り外し後	61
SB取り外し前測定	62
SB#12取り外し後	63

TOP構造体 最後の検証

ストロングバック取外し時の測定結果 (測定点270° #12、#13)

- Action27~45までベローズパイプが当たっていたのに残念ながら気が付かなかったが、#12、#13に直接関係するAction45以降では変位量はそれほど多くなく、経時変化も安定している。

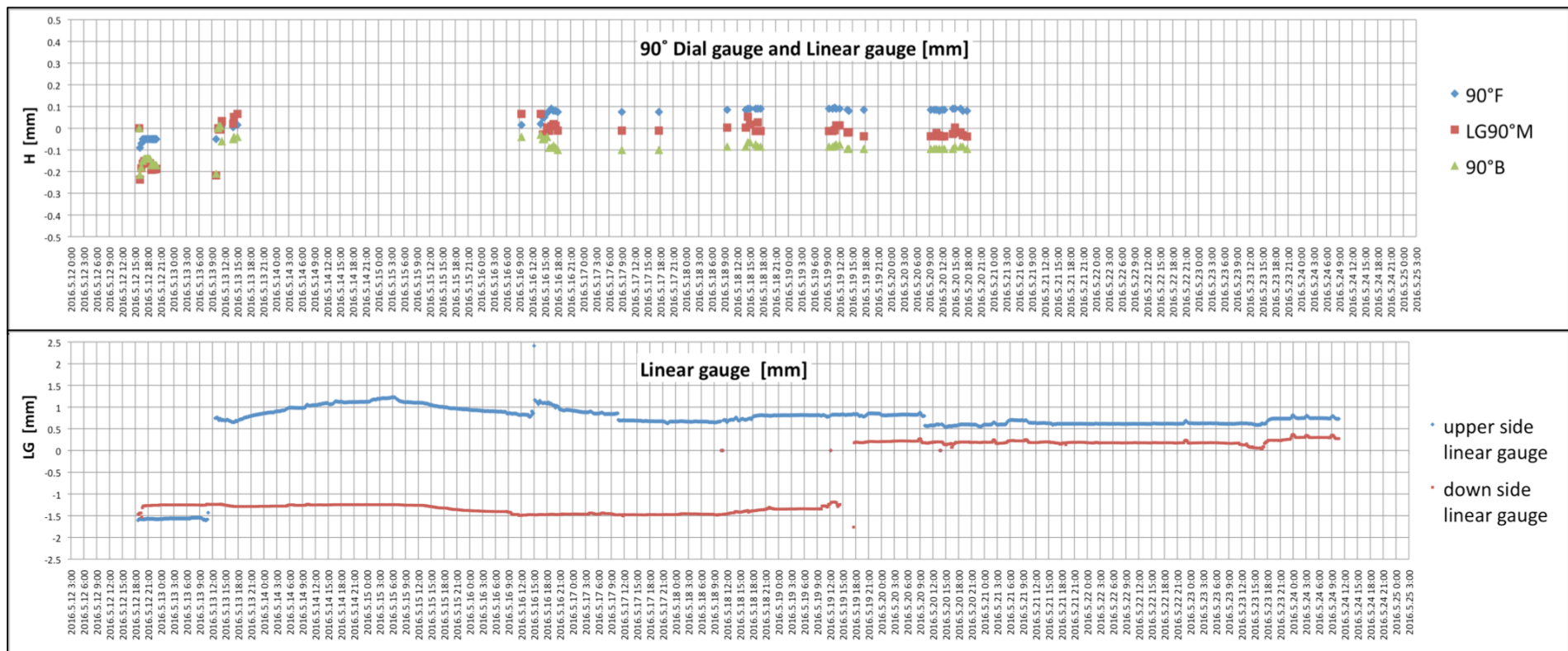


作業項目	Action
SB取り外し前測定	20
SB #5取り外し後	21
90° ジグ場所#4から#5へ変更後前測定	22
SB #6取り外し後	23
前測定	24
SB#7取り外し後	25
SB#8取り外し後	26
45時間後	27
ストレインゲージ追加後前測定	28
SB#4取り外し後	29
90° 治具再取り付け後前測定	30
SB#3取り外し後	31
SB取り外し前測定	32
SB#2取り外し後	33
SB取り外し前測定	34
SB#1取り外し後	35
治具に当たった	36
地震の11.5時間後	37
90° 調査後再設定	38
昨日のまま	39
	40
SB取り外し前測定	41
SB#16取り外し後	42
SB取り外し前測定	43
SB#15取り外し後	44
	45
	46
270°のパイプの下にベローズパイプが挟まっていた	47
SB取り外し前測定	48
SB#14取り外し後	49
270°のLGのケーブルが干渉していた	50
SB取り外し前測定	51
SB#13取り外し後	52
180°と270°を#9→#8、#12→#13に変更	53
SB取り外し前測定	54
90°当たったのを確認後前測定	55
SB#9取り外し後	56
180°治具取り外し取り付け	57
SB#10取り外し前	58
SB#10取り外し後	59
270°LGにウレタンがかぶっていたのを処理後前測定	60
SB#11取り外し後	61
SB取り外し前測定	62
SB#12取り外し後	63

TOP構造体 最後の検証

長期安定性

- 上図は90°のActionごとの変位を時系列でプロットしたもの。5/12～5/20
5/16以降はストロングバックを外した時の変位だが安定している。
- 下図は90°と270°の中央のリニアゲージの記録を示す。5/12～5/24
明らかに段差がある所はゲージを調整した為。その他のうねりや段差は温度変化や作業
者(TOPのスタッフ)がぶつかった為。ストロングバックを外し終えた5/20以降は安定してお
り、構造体が壊れる兆候は見られ無い。



TOP構造体 最後の検証

ストロングバック取り外し



#5 最初のストロングバック
FWDから見る



#12 最後のストロングバック
BWDから見る

TOP構造体 最後の検証

測定方法

- 測定ジグはよく機能していた
- ストロングバックを外した時の変化は $\pm 0.1\text{mm}$ 程度で、時間の経過とともに変動することも無く、TOP構造体の剛性に問題が無いことが検証された
- Z-beam取付時の変位は想定外だったが、よく考えてみれば当たり前の事だった
- 実はストロングバックの重量がモジュールと合わせた重量に対して約25%を占めているので、軽くなった分上下のモジュールは上に持ち上がって撓みが小さくなる事を期待していたが、測定誤差に埋もれて、顕著な変化は読み取れなかった