

4. 5. 1 実験方法

図 4.5.1-1 に図面を示す。試験体寸法は 1820×2730mm、柱 105×105mm、土台 105×105mm、桁 180×105mm とし、表面に合板(910×1820×5mm)を貼り付けた。釘は 20mm のものを用い、ピッチは 150mm とした。また、柱頭柱脚部のほぞは短ほぞとした。合板は 3 枚で、図 5.1.1-1 のように貼り付ける。V 字金物は裏面に 65mm の釘で打ち込む。今回、柱・土台に使用したスギ材は含水率 15%のスギ材を使用した。

2730

合板

合板

合板

ボルト穴φ16

200 1820 200

2420

105 180 105

梁：ベイマツ
柱、土台：スギ

V字金物

2) タイロッド式

4-274

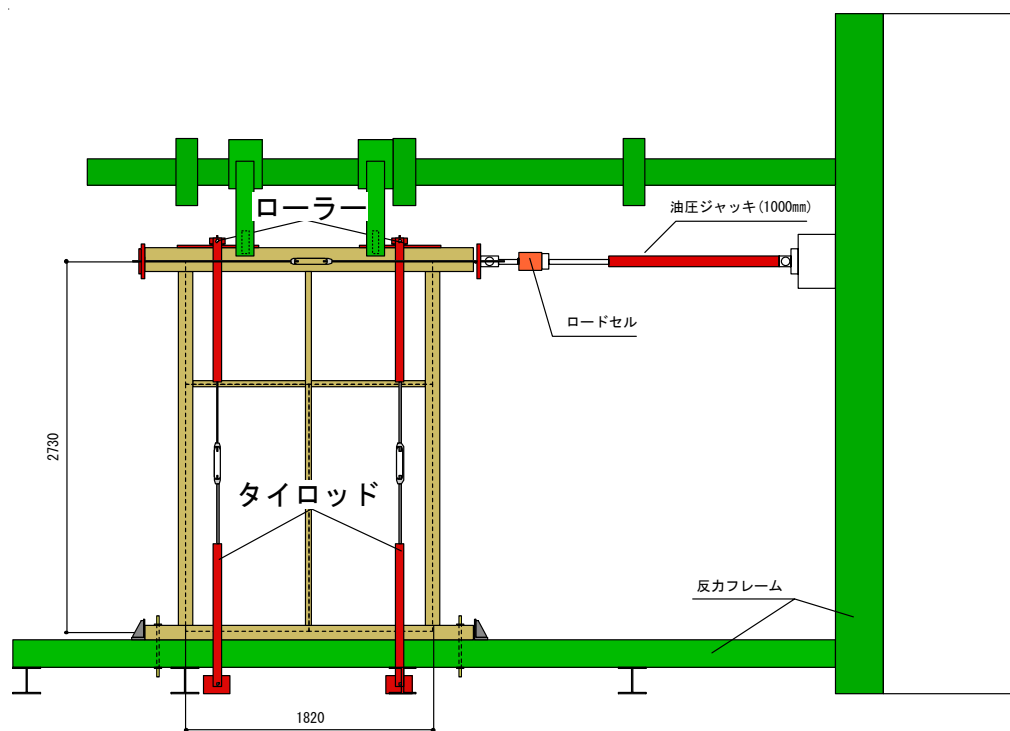


図 4. 5. 1-2 タイロッド式試験法図



写真 4. 5. 1-1 実験の様子



写真 4. 5. 1-2 タイロッド上部ローラー

図 4.5.1-3 にタイロッド試験法の計測図を示す。表 4.5.1-1 にタイロッド式試験法のチャンネルリストを示す。

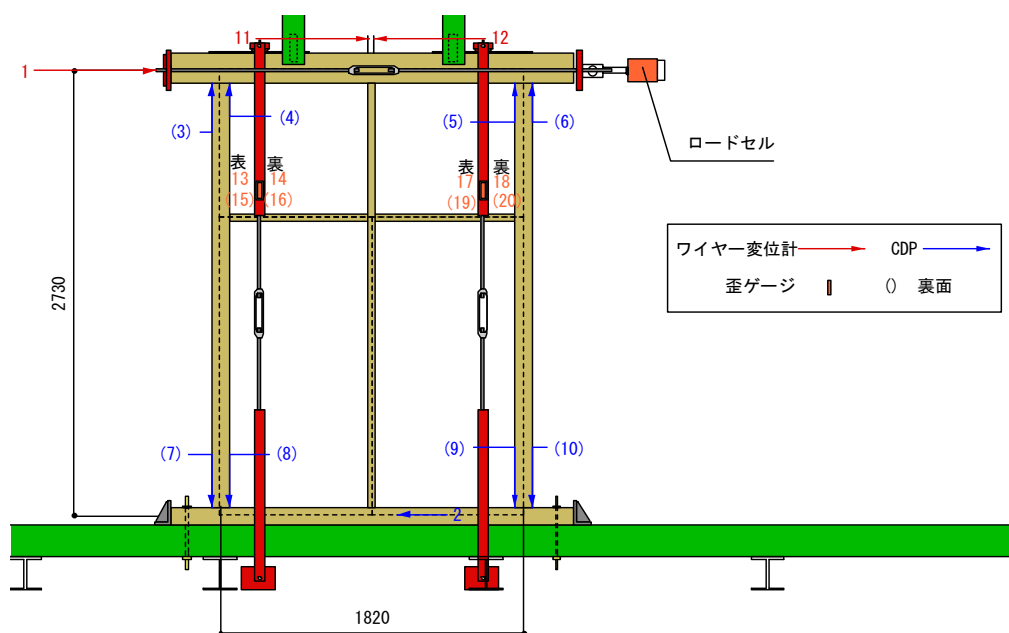


図 4.5.1-3 タイロッド式チャンネル図

表 4.5.1-1 タイロッド式チャンネルリスト

ch	使用機器	機種	計測対象	計測構面
0	TCLU-100KNA	ロードセル	水平荷重	頂部
1	DP-2000C	ワイヤー変位計	頂部水平変位	梁左側
2	CDP-50	高感度変位計	土台水平変位	土台側面
3	CDP-25	高感度変位計	左柱頭部変位・抜け	左柱頭部
4	CDP-25	高感度変位計	左柱頭部変位・抜け	左柱頭部
5	CDP-25	高感度変位計	右柱頭部変位・抜け	右柱頭部
6	CDP-25	高感度変位計	右柱頭部変位・抜け	右柱頭部
7	CDP-50	高感度変位計	左柱脚部変位・抜け	左柱脚部
8	CDP-50	高感度変位計	左柱脚部変位・抜け	左柱脚部
9	CDP-50	高感度変位計	右柱脚部変位・抜け	右柱脚部
10	CDP-50	高感度変位計	右柱脚部変位・抜け	右柱脚部
11	DP-1000C	ワイヤー変位計	タイロッドの変位	ローラー上部
12	DP-1000C	ワイヤー変位計	タイロッドの変位	ローラー上部
13	PFL-10-11-5LT	歪ゲージ	タイロッドの歪	表側・左タイロッドの表
14	PFL-10-11-5LT	歪ゲージ	タイロッドの歪	表側・左タイロッドの裏
15	PFL-10-11-5LT	歪ゲージ	タイロッドの歪	裏側・左タイロッドの表
16	PFL-10-11-5LT	歪ゲージ	タイロッドの歪	裏側・左タイロッドの裏
17	PFL-10-11-5LT	歪ゲージ	タイロッドの歪	表側・右タイロッドの表
18	PFL-10-11-5LT	歪ゲージ	タイロッドの歪	表側・右タイロッドの裏
19	PFL-10-11-5LT	歪ゲージ	タイロッドの歪	裏側・右タイロッドの表
20	PFL-10-11-5LT	歪ゲージ	タイロッドの歪	裏側・右タイロッドの裏

3) 錘載荷式

図 4.5.1-4 に錘載荷式試験法の正面図を示す。写真 4.5.1-3 に桁(柱の上部)に取り付けた錘を吊すための治具を示す。図 4.5.1-5 に鉛直載荷用錘とそれを吊した様子を示す。錘は 1 つ 1t (10kN) で、表と裏を合計して 2t(20kN)とする。

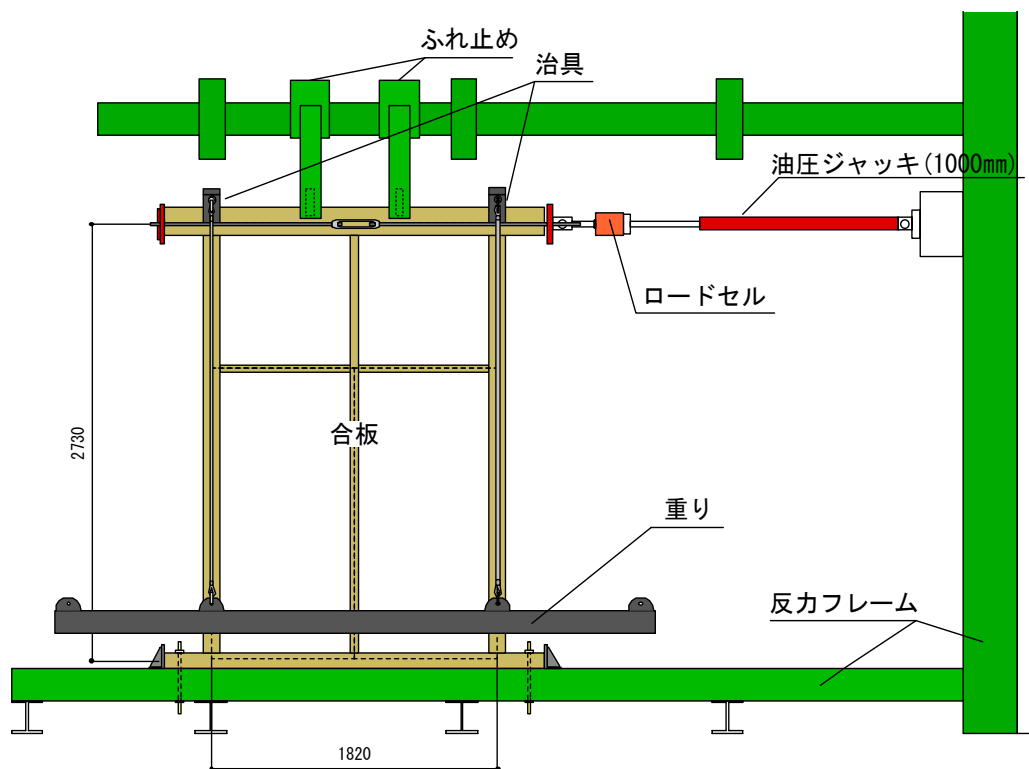


図 4.5.1-4 載荷式正面図



写真 4.5.1-3 鉛直載荷治具



写真 4.5.1-4 鉛直載荷の様子

図 4.5.1-5 に錘載荷試験法の計測図を示す。表 4.5.1-2 に錘載荷式試験法のチャンネルリストを示す。まず、計測方法について述べる。水平荷重は油圧シリンダーに取り付けてあるロードセル 0ch により測定する。水平変位は梁左側のワイヤー変位計 1ch により計測する。その他の計測機器については試験法別に、 p - δ 効果による影響を算出できるような位置に設置する。

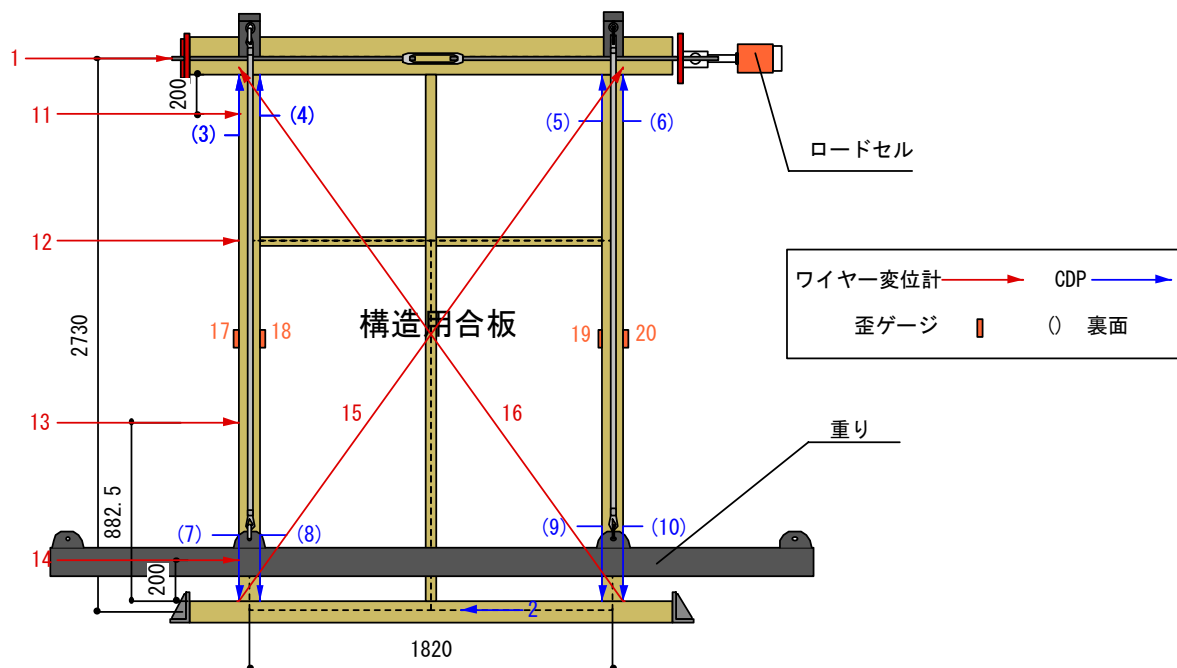


図 4.5.1-5 载荷式チャンネル図

表 4.5.1-2 载荷式チャンネルリスト

ch	使用機器	機種	計測対象	計測構面
0	TCLU-100KNA	ロードセル	水平荷重	頂部
1	DP-2000C	ワイヤー変位計	頂部水平変位	梁左側
2	CDP-50	高感度変位計	土台水平変位	土台側面
3	CDP-25	高感度変位計	左柱頭部変位・抜け	左柱頭部
4	CDP-25	高感度変位計	左柱頭部変位・抜け	左柱頭部
5	CDP-25	高感度変位計	右柱頭部変位・抜け	右柱頭部
6	CDP-25	高感度変位計	右柱頭部変位・抜け	右柱頭部
7	CDP-50	高感度変位計	左柱脚部変位・抜け	左柱脚部
8	CDP-50	高感度変位計	左柱脚部変位・抜け	左柱脚部
9	CDP-50	高感度変位計	右柱脚部変位・抜け	右柱脚部
10	CDP-50	高感度変位計	右柱脚部変位・抜け	右柱脚部

4) 鉛直荷重制御式

図 4.5.1-6 に鉛直荷重制御式試験の正面図を示す。写真 4.5.1-5 に鉛直制御式試験の様子、写真 4.5.1-6、7 にそのとき使用した治具及び油圧ジャッキを示す。鉛直荷重を加える方法を以下に記す。

桁上の柱頭位置にローラー治具を取り付ける。その上に鋼材を置き、その両端に写真 4.5.1-7 のトーナメント治具、油圧ジャッキを取り付ける。鉛直荷力はこの油圧ジャッキによって片側 1 t (10kN) 両側合わせて 2 t (20kN) を加える。この試験法ではローラー治具上の鋼材が試験体と異なる動きをするため、その鋼材の変位も計測する。

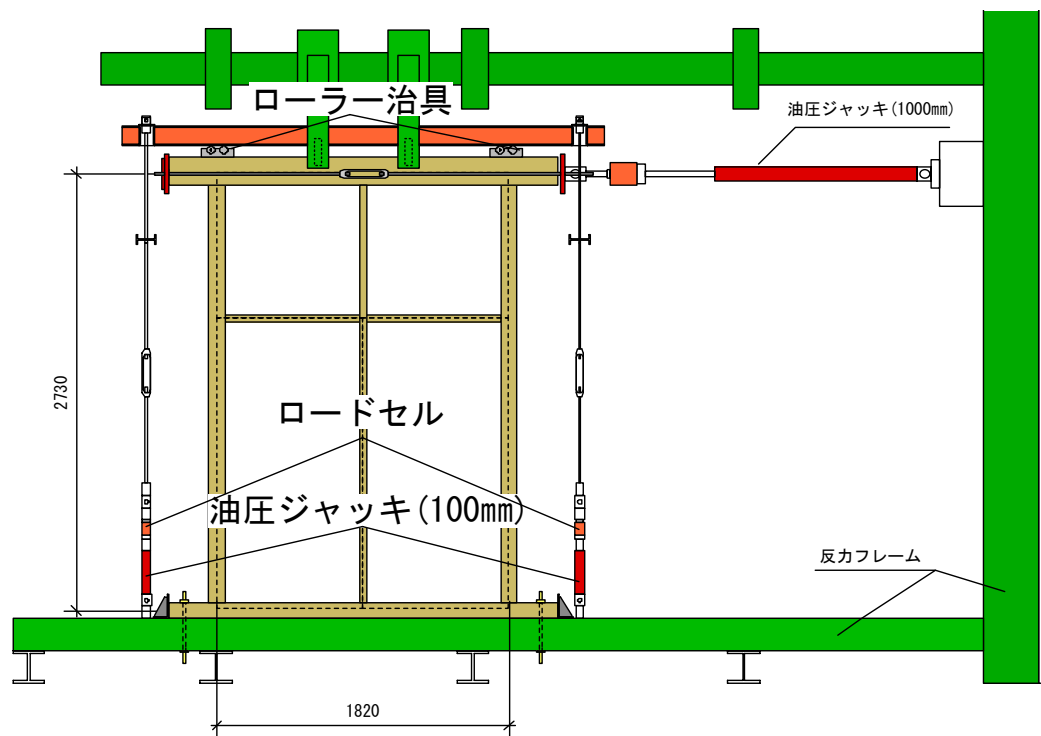


図 4. 5. 1-6 鉛直荷重制御式正面図



写真 4. 5. 1-5 試験全景



写真 4. 5. 1-6 鉛直载荷装置



写真 4. 5. 1-7 鉛直载荷治具

図 4.5.1-7 に鉛直制御式試験法の計測図を示す。表 4.5.1-3 に鉛直制御式試験法のチャンネルリストを示す。

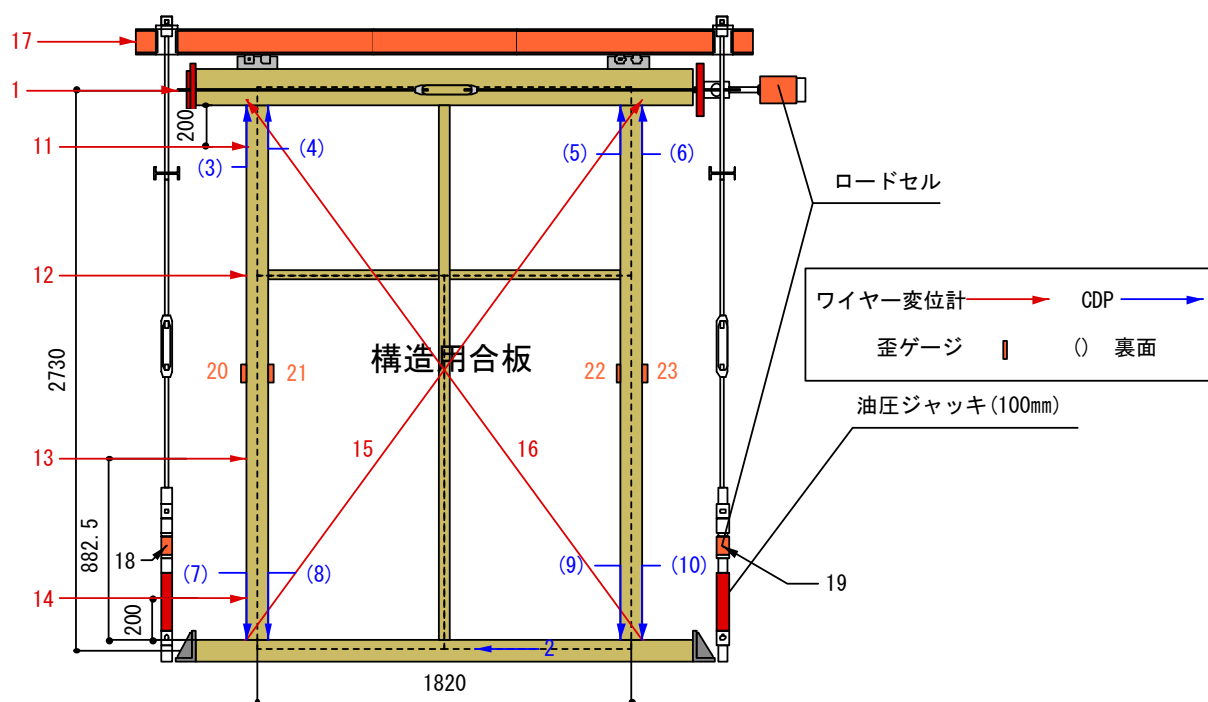


図 4.5.1-7 定載荷式チャンネル図

表 4.5.1-3 定載荷式チャンネルリスト

ch	使用機器	機種	計測対象	計測構面
0	TCLU-100KNA	ロードセル	水平荷重	頂部
1	DP-2000C	ワイヤー変位計	頂部水平変位	梁左側
2	CDP-50	高感度変位計	土台水平変位	土台側面
3	CDP-25	高感度変位計	左柱頭部変位・抜け	左柱頭部
4	CDP-25	高感度変位計	左柱頭部変位・抜け	左柱頭部
5	CDP-25	高感度変位計	右柱頭部変位・抜け	右柱頭部
6	CDP-25	高感度変位計	右柱頭部変位・抜け	右柱頭部
7	CDP-50	高感度変位計	左柱脚部変位・抜け	左柱脚部
8	CDP-50	高感度変位計	左柱脚部変位・抜け	左柱脚部
9	CDP-50	高感度変位計	右柱脚部変位・抜け	右柱脚部
10	CDP-50	高感度変位計	右柱脚部変位・抜け	右柱脚部
11	DP-1000C	ワイヤー変位計	H鋼の変位	H鋼左側
12	TCLP-50KNB	ロードセル	鉛直荷重	試験体左部
13	TCLP-50KNB	ロードセル	鉛直荷重	試験体右部

5) スプリング式

図 4.5.1-8 にスプリング式試験法の図を示す。写真 4.5.1-8、9 に実験で使用したバネ付治具とレバーブロックを示す。写真 4.5.1-8 の治具に取り付けたバネ 2 つを用いて、試験体の表側と裏側から鉛直載荷する。バネの仕様はバネ係数 500/30(kg/mm) のものを使用し、4 つのバネをそれぞれ 30mm 縮めることで合計 2t の鉛直荷重を加えて実験を行う。この治具はふれ止めに固定して加力方向に動かないようにする。しかし、試験体の変形によってバネの伸縮によって鉛直荷重が変化するため、バネの伸縮についても計測を行う。

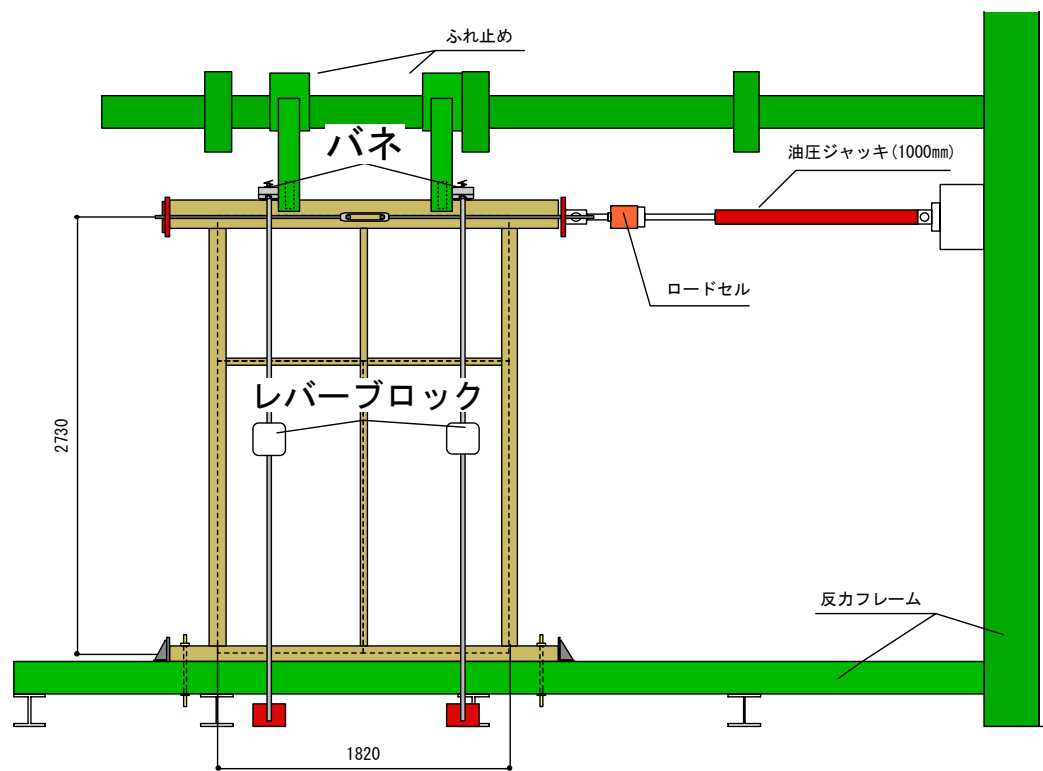


図 4. 5. 1-8 スプリング式正面図

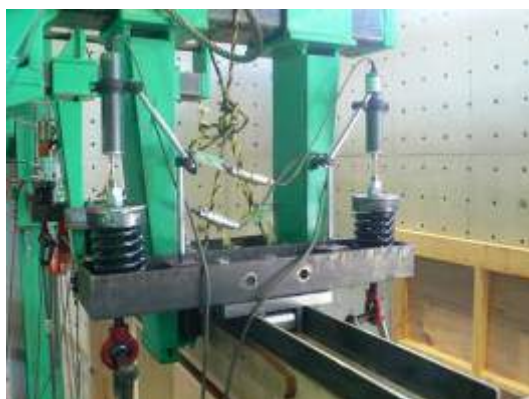


写真 4. 5. 1-8 バネとローラー治具



写真 4. 5. 1-9 レバブロック

図 4.5.1-9 に鉛直制御式試験法の計測図を示す。表 4.5.1-4 に鉛直制御式試験法のチャンネルリストを示す。

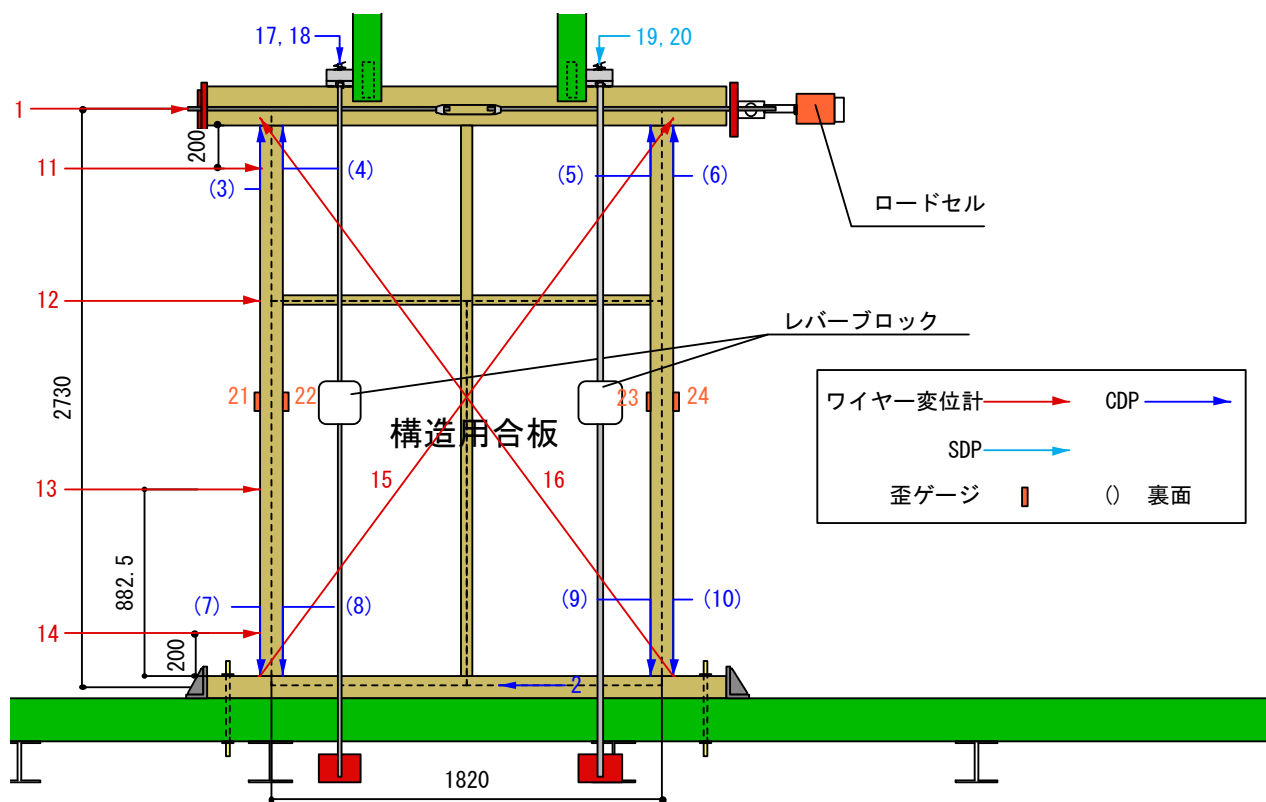


図 4.5.1-9 バネ載荷式チャンネル図

表 4.5.1-4 バネ載荷式チャンネルリスト

ch	使用機器	機種	計測対象	計測構面
0	TCLU-100KNA	ロードセル	水平荷重	頂部
1	DP-2000C	ワイヤー変位計	頂部水平変位	梁左側
2	CDP-50	高感度変位計	土台水平変位	土台側面
3	CDP-25	高感度変位計	左柱頭部変位・抜け	左柱頭部
4	CDP-25	高感度変位計	左柱頭部変位・抜け	左柱頭部
5	CDP-25	高感度変位計	右柱頭部変位・抜け	右柱頭部
6	CDP-25	高感度変位計	右柱頭部変位・抜け	右柱頭部
7	CDP-50	高感度変位計	左柱脚部変位・抜け	左柱脚部
8	CDP-50	高感度変位計	左柱脚部変位・抜け	左柱脚部
9	CDP-50	高感度変位計	右柱脚部変位・抜け	右柱脚部
10	CDP-50	高感度変位計	右柱脚部変位・抜け	右柱脚部
11	CDP-50	高感度変位計	バネの伸縮	左前バネ
12	CDP-50	高感度変位計	バネの伸縮	左後ろバネ
13	SDP-50	一般用変位計	バネの伸縮	右前バネ
14	SDP-50	一般用変位計	バネの伸縮	右後ろバネ

4. 5. 2 実験結果

1) タイロッド式

図 4.5.2-1 にタイロッド式試験によって得られた未補正の荷重と真の変形角関係を、図 4.5.2-2 に $P-\delta$ 効果を除いた荷重と真の変形角関係を示す。

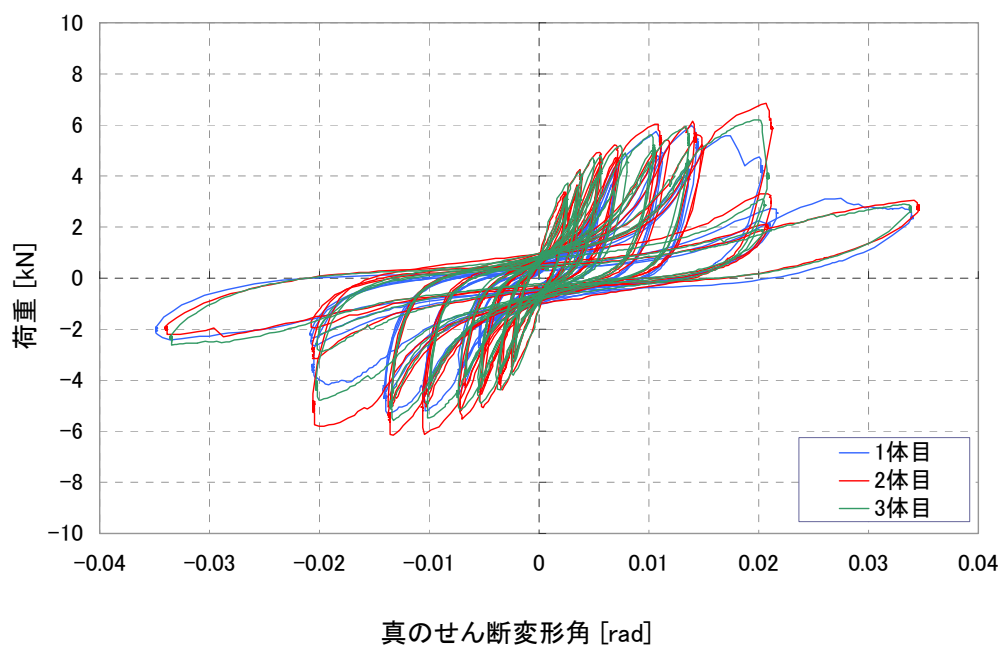


図 4. 5. 2-1 未補正の荷重－真の変形角関係

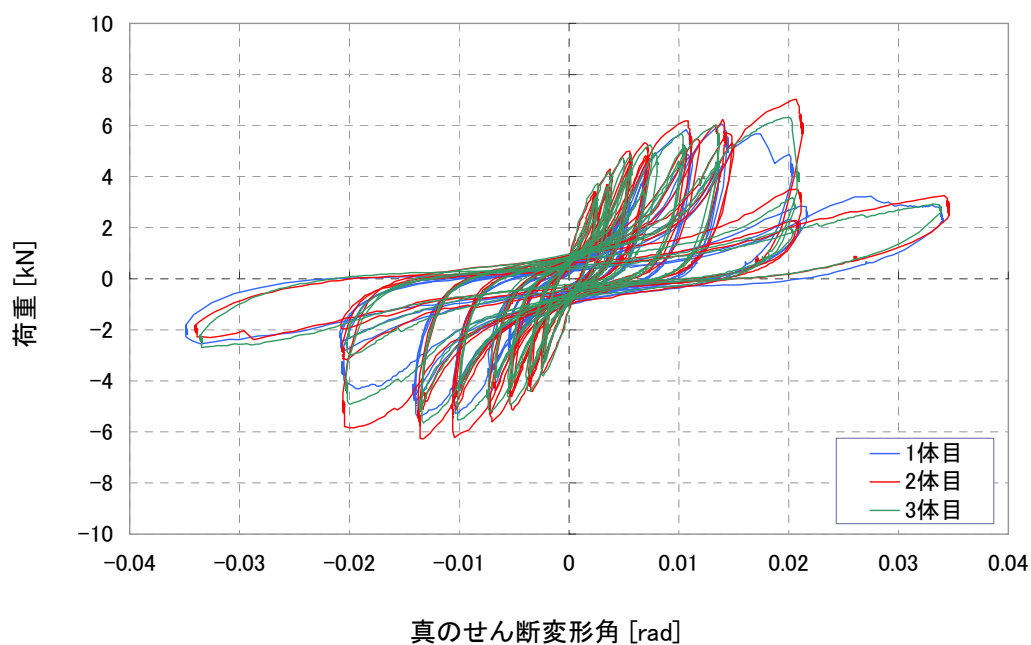


図 4. 5. 2-2 $P-\delta$ 効果除去後の荷重－真の変形角関係

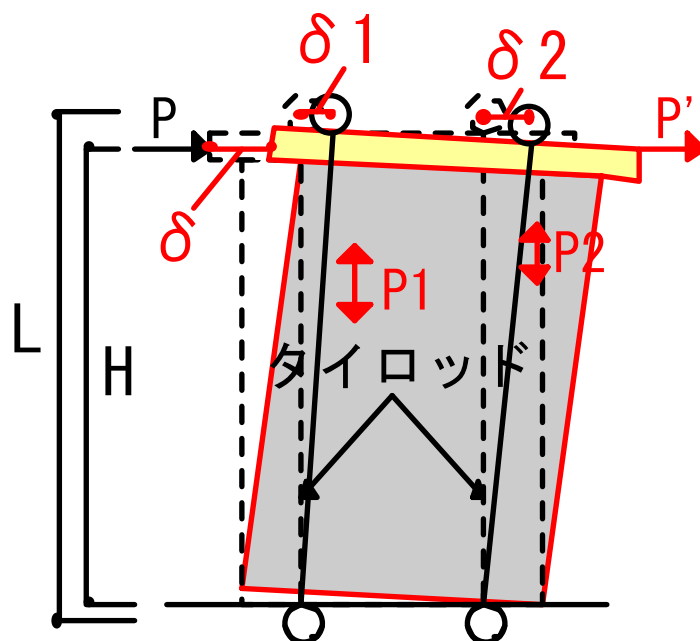


図 4.5.2-3 タイロッド式の力の様子

$$P' = \frac{(p_1 \times \cos \left| \frac{\delta_1}{L} \right| \times (\delta - \delta_1) + \cos \left| \frac{\delta_2}{L} \right| \times (\delta + \delta_2))}{H} \quad (1)$$

p_1 : 左タイロッド軸力, p_2 : 右タイロッド軸力
 δ_1 : 左タイロッド変位, δ_2 : 右タイロッド変位
 δ : 水平変位, H : 試験体高さ, L : 治具の高さ

P-δ 効果による水平力は、上記の (1) 式を用いて求めた。試験体変形時の力の様子は図 4.1.2-1 に示した通りである。(1) 式から求めた P' を図 4.5.2-1 の結果に足すことで図 4.5.2-2 の結果となった。図 4.5.2-4 から図 4.5.2-6 に示すグラフはタイロッドの歪と、引張試験より求めたヤング係数から、タイロッドの軸力を算出した結果である。1 体目から 3 体目それぞれで軸力にばらつきが見られた。この結果から、手でタイロッドを締め付けることで軸力に大きな違いが出ることが分かった。

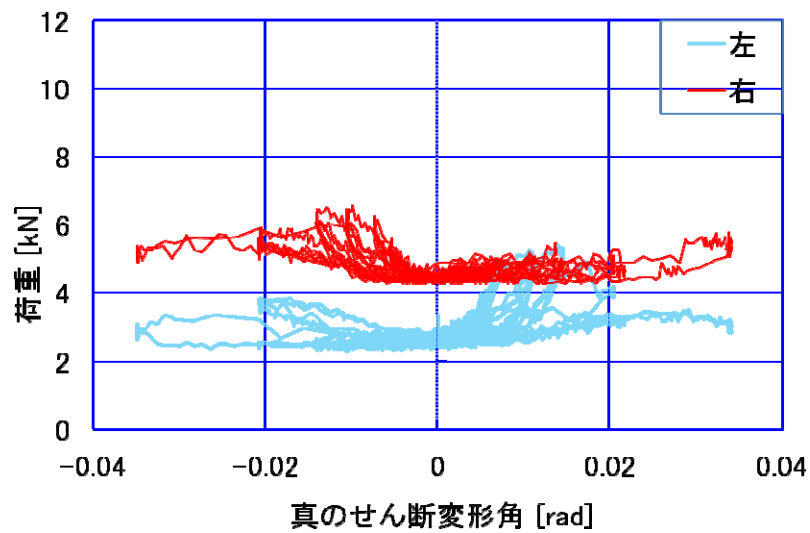


図 4.5.2-4 タイロッドの軸力と真の変形角関係 (1 体目)

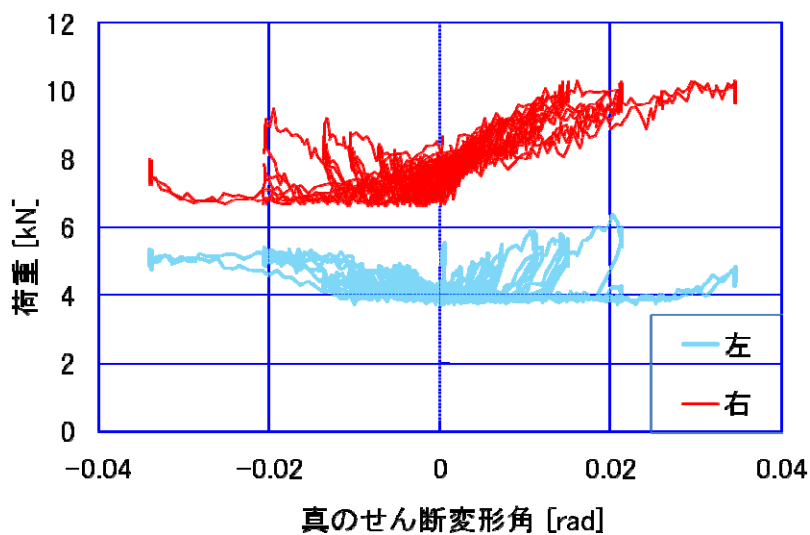


図 4.5.2-5 タイロッドの軸力と真の変形角関係 (2 体目)

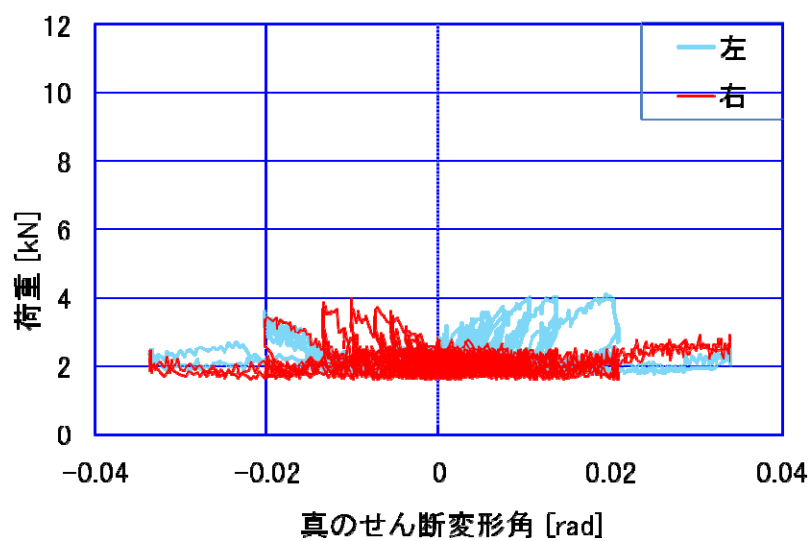


図 4.5.2-6 タイロッドの軸力と真の変形角関係 (3 体目)

2) 錘載荷式

図 4.5.2-7 に錘載荷式試験によって得られた未補正の荷重と真の変形角関係を、図 4.5.2-8 に $P-\delta$ 効果を除いた荷重と真の変形角関係を示す。

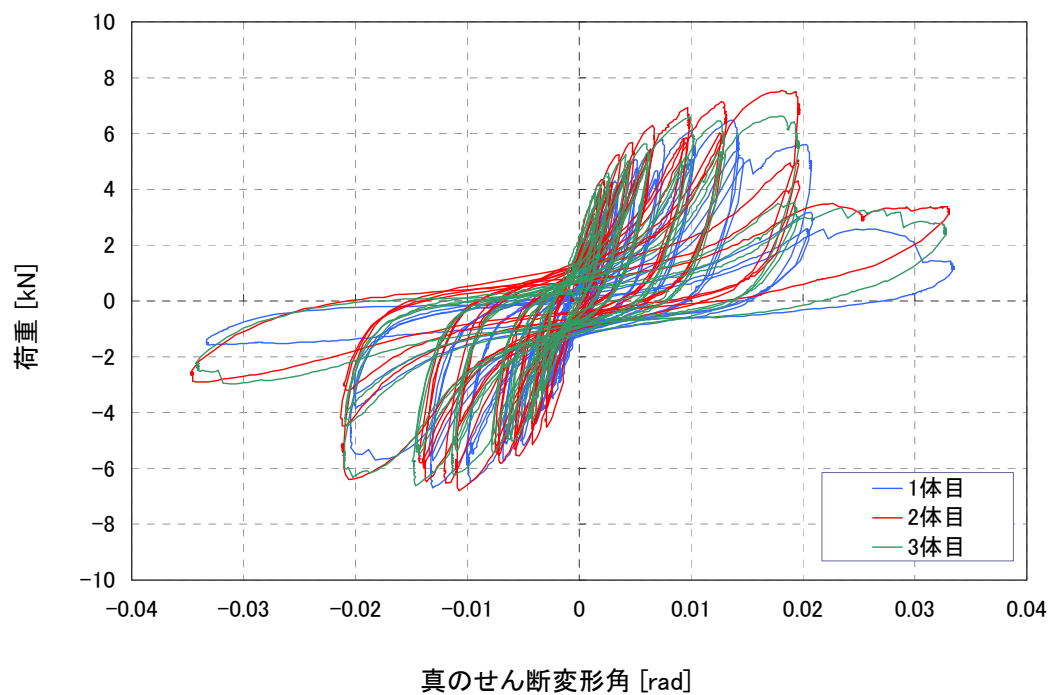


図 4.5.2-7 未補正の荷重－真の変形角関係

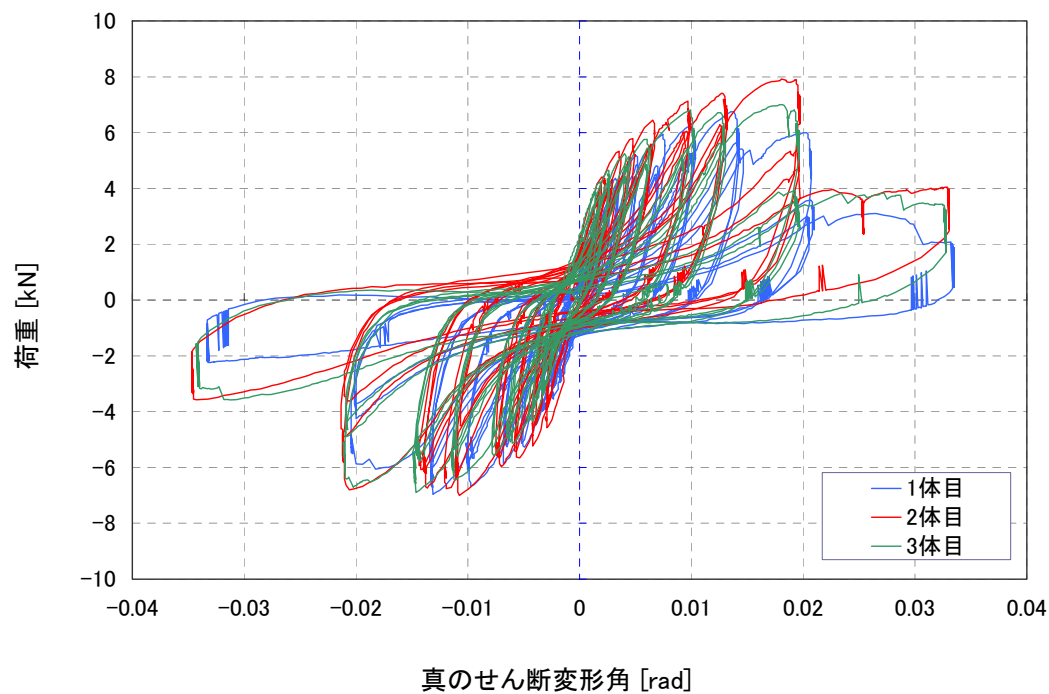


図 4.5.2-8 $P-\delta$ 効果除去後の荷重－真のせん断変形角関係

P-δ 効果の除去

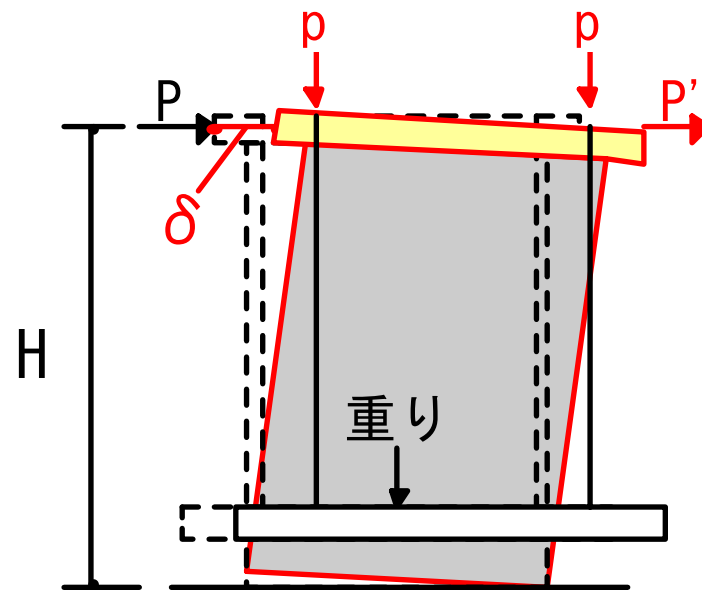


図 4.5.2-9 載荷式の力の様子

$$P' = \frac{2P \times \delta}{H} \quad (2)$$

p:鉛直荷重
δ:水平変位
H:試験体高さ

P-δ 効果による水平力は、上記の(2)式を用いて求めた。試験体変形時の力の様子は図 4.1.1-3 に示した通りである。(2)式から求めた P'を図 4.5.2-7 の結果に足すことで図 4.5.2-8 の結果となった。

3) 鉛直荷重制御式

図 4.5.2-10 に鉛直荷重制御式試験によって得られた未補正の荷重と真の変形角関係を、図 4.5.2-11 に $P-\delta$ 効果を除いた荷重と真の変形角関係を示す。

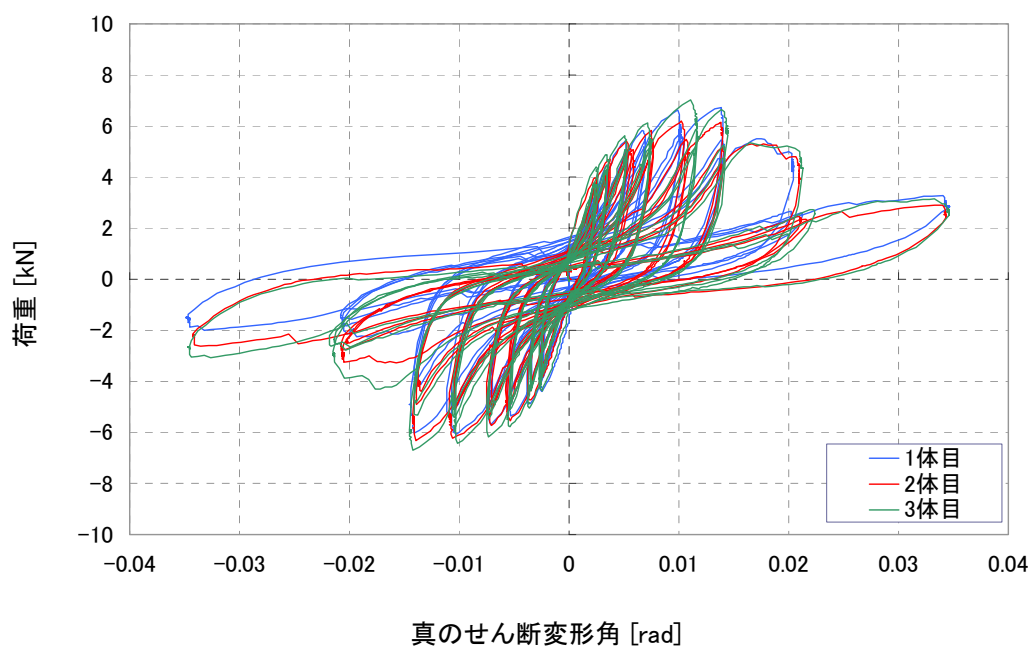


図 4.5.2-10 未補正の荷重－真のせん断変形関係

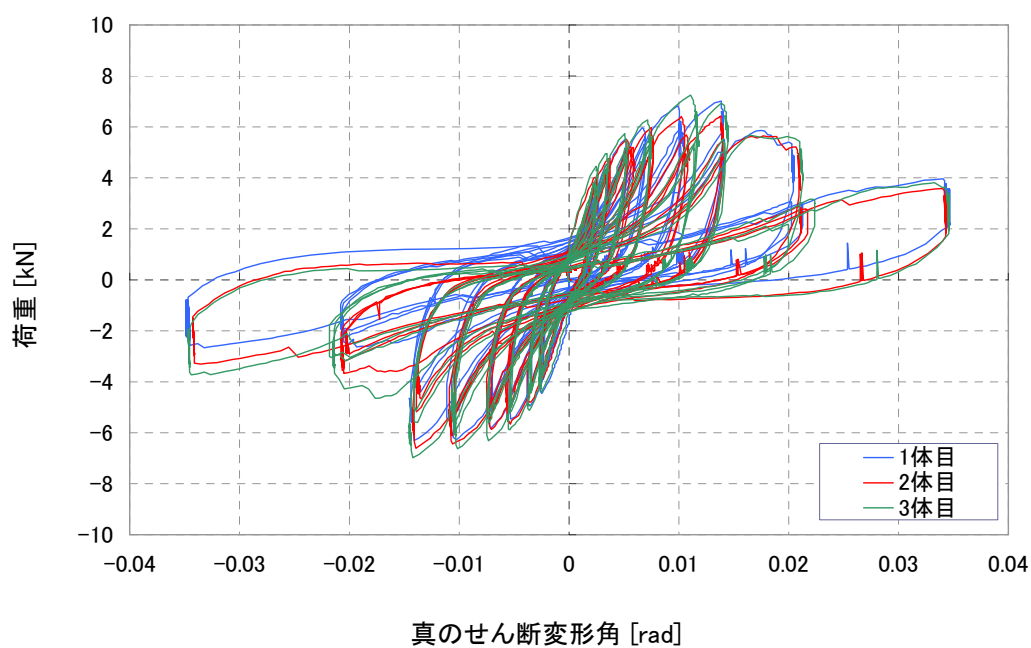


図 4.5.2-11 $P-\delta$ 効果除去後の荷重－真のせん断変形角関係

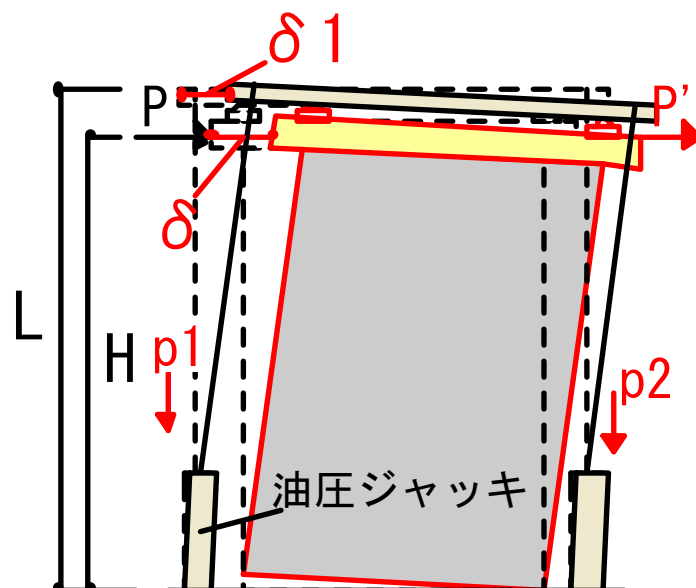


図 4.5.2-12 鉛直荷重制御式の力の様子

$$P' = \frac{(P_1 + P_2) \times \cos \left| \frac{\delta_1}{L} \right| \times \delta}{H} \quad (3)$$

p_1, p_2 :鉛直荷重, δ :水平変位
 H :試験体高さ, δ_1 :H 鋼の水平変位
 L :治具の高さ

P-δ 効果による水平力は、上記の(3)式を用いて求めた。試験体変形時の力の様子は図 5.2.3-3 に示した通りである。(3)式から求めた P' を図 4.5.2-10 の結果から引くことで図 4.5.2-11 の結果となった。

4) スプリング式

図 4.5.2-12 にスプリング式試験によって得られた未補正の荷重－真のせん断変形角関係を、図 4.5.2-13 に $P-\delta$ 効果を除いた荷重－真のせん断変形角関係を示す。

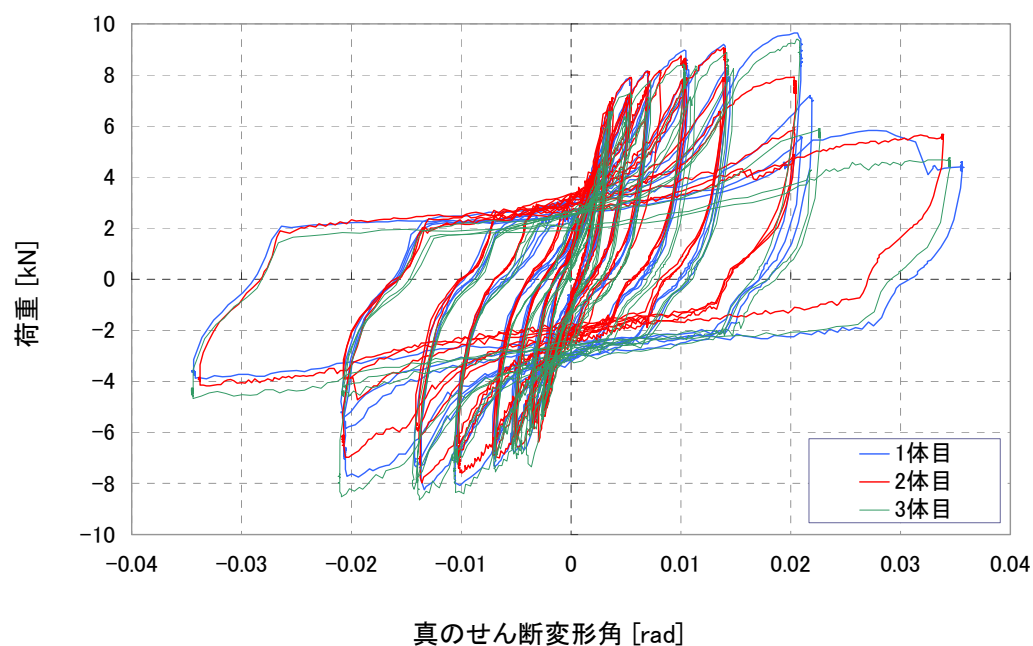


図 4.5.2-12 未補正の荷重－真のせん断変形角関係

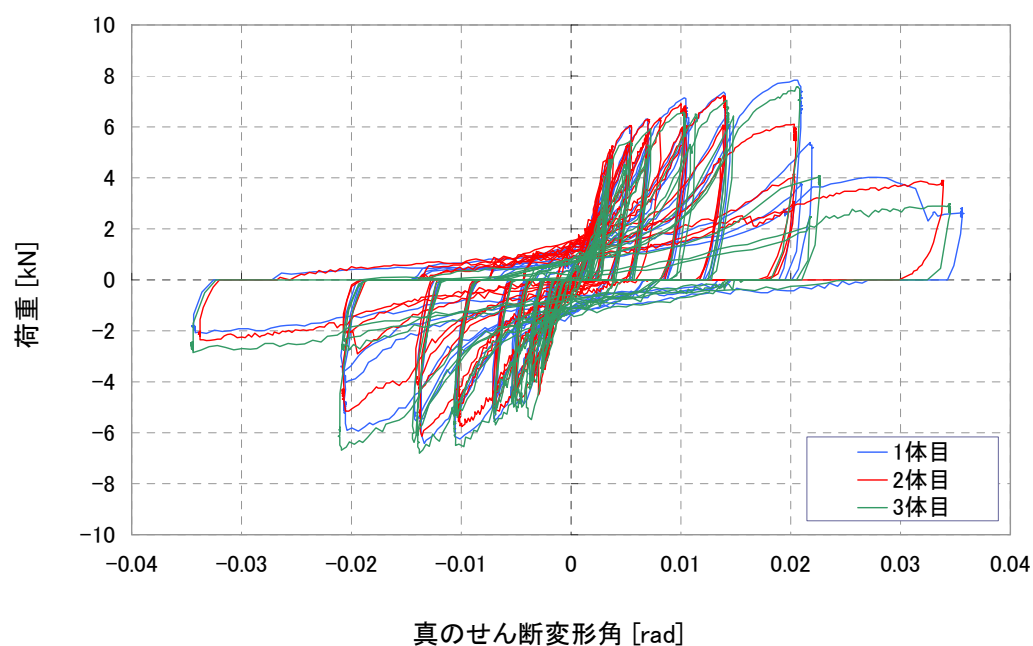


図 4.5.2-13 $P-\delta$ 効果除去後の荷重－真のせん断変形角関係

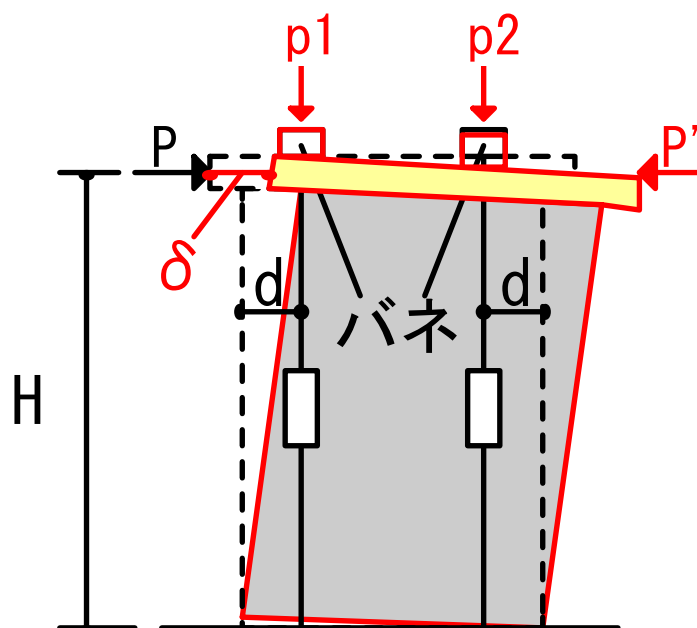


図 4.5.2-14 スプリング式の力の様子

$$P' = \frac{p_1 \times (d - \delta) + p_2 \times (d - \delta)}{H} \quad (4)$$

p_1, p_2 :鉛直荷重, H :試験体高さ
 d :バネと柱の距離, δ :水平変位

P-δ 効果による水平力は、上記の(4)式を用いて求めた。試験体変形時の力の様子は図 4.5.2-14 に示した通りである。(4)式から求めた P' を図 4.5.2-12 の結果から引くことで図 4.5.2-13 の結果となった。

図 4.5.2-15～17 に示すグラフは、バネの伸縮とバネ係数から左右のスプリングの鉛直荷重を求めた結果である。試験体の変形が大きくなると、スプリングは徐々に伸び、結果的に鉛直荷重は低下する傾向が見られた。

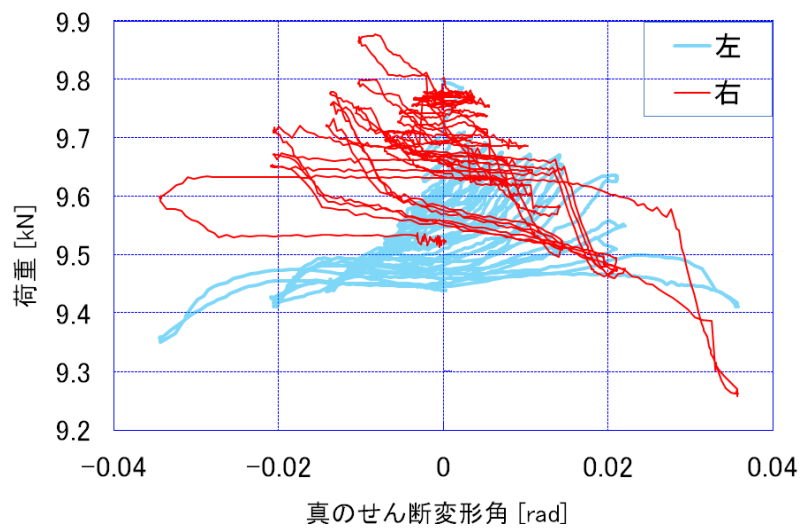


図 4.5.2-15 スプリングの軸力と真のせん断変形角 (1 体目)

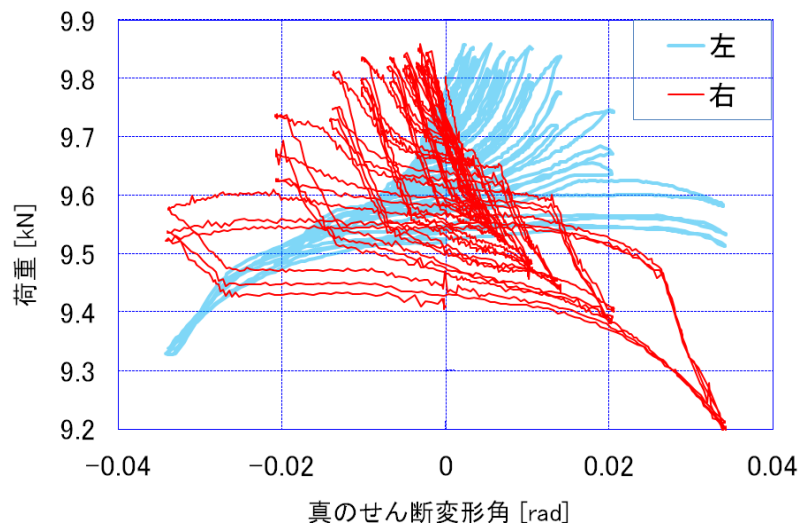


図 4.5.2-16 スプリングの軸力と真のせん断変形角 (2 体目)

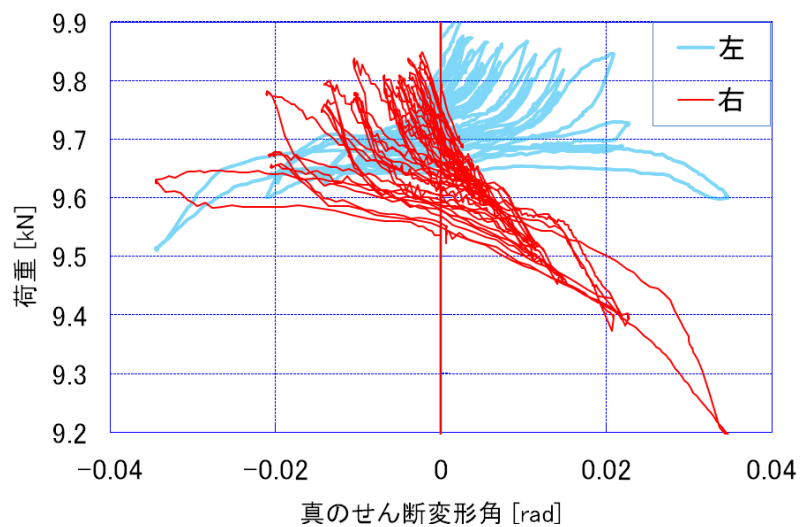


図 4.5.2-17 スプリングの軸力と真のせん断変形角 (3 体目)

5) 損傷過程

写真 4.5.2-1～16 に各試験体の損傷状況を示す。各試験法での損傷過程は類似しており、損傷程度もあまり差異は見られなかった。したがって全試験法の損傷過程をまとめて記す。

1/450rad～1/200rad ではほとんど損傷が見られず、変形角が大きくなるにつれ合板が若干擦れる程度であった。

1/150rad～100rad では合板の擦れが目立つようになり、柱・土台に合板を打ち付けている釘が抜け、下 2 つの合板が若干浮き始めた (写真 4.5.2-1～4)。

1/75rad～1/50rad では釘の引き抜けが多く発生し、合板の一部が剥がれ始め、試験法による規則性はないものの試験体によっては合板の上下左右の端で剥がれるものもあった (写真 4.5.2-5～8)。

1/30rad では全ての試験体で合板が大方剥がれ、合板がせん断耐力を発揮しなくなったことで、耐力がほぼ一定となった (写真 4.5.2-9～12)。ここでほとんどの試験体で実験を終了した。

大変形角での試験法による治具の挙動を確認するために錘載荷式以外の各試験法で 1 体ずつ 1/10rad まで加力を行った (写真 4.5.2-13～15)。全ての試験法で大変形角でも動作に問題はなかった。



写真 4.5.2-1 タイロッド式 (100rad)



写真 4.5.2-2 錘載荷式 (100rad)



写真 4.5.2-3 鉛直荷重制御式 (100rad)



写真 4.5.2-4 スプリング式 (100rad)



写真 4. 5. 2-5 タイロッド式 (1/50rad)



写真 4. 5. 2-6 錘載荷式 (1/50rad)



写真 4. 5. 2-7 鉛直荷重制御式 (1/50rad)



写真 4. 5. 2-8 スプリング式 (1/50rad)



写真 4. 5. 2-9 タイロッド式 (1/30rad)



写真 4. 5. 2-10 錘載荷式 (1/30rad)



写真 4. 5. 2-11 鉛直荷重制御式 (1/30rad)



写真 4. 5. 2-12 スプリング式 (1/30rad)



写真 4.5.2-13 タイロッド式 (1/10rad)



写真 4.5.2-14 鉛直荷重制御式 (1/10rad)



写真 4.5.2-15 スプリング式 (1/10rad)

6) 各試験体の比較

P- δ 効果の除去が正確に行われているかを検証するため、実験結果の骨格曲線から軸組のせん断耐力を差し引いた構面みの骨格曲線とP- δ 効果を除去した骨格曲線を比較する。図 4.5.2-18 にその比較の骨格曲線を示す。実線が実験結果から軸組のせん断耐力を差し引いたもので、破線が実験結果からP- δ 効果を差し引いたものである。

この図を見ると、軸組のせん断耐力を除去したもの、P- δ 効果を除去したもののどちらも各試験法ごとのバラツキはほとんどないことから、軸組のせん断耐力を除去する方法とP- δ 効果を除去する方法どちらも、一様に構面のせん断耐力を評価できていると言える。

また、実線と破線に 2kN ほどの耐力差があるのはP- δ 効果を除去した方には軸組のせん断耐力が入っているため、その耐力の 2kN ほど大きくなったと考えられる。したがって、P- δ 効果の除去の方法についての妥当性が確認できた。

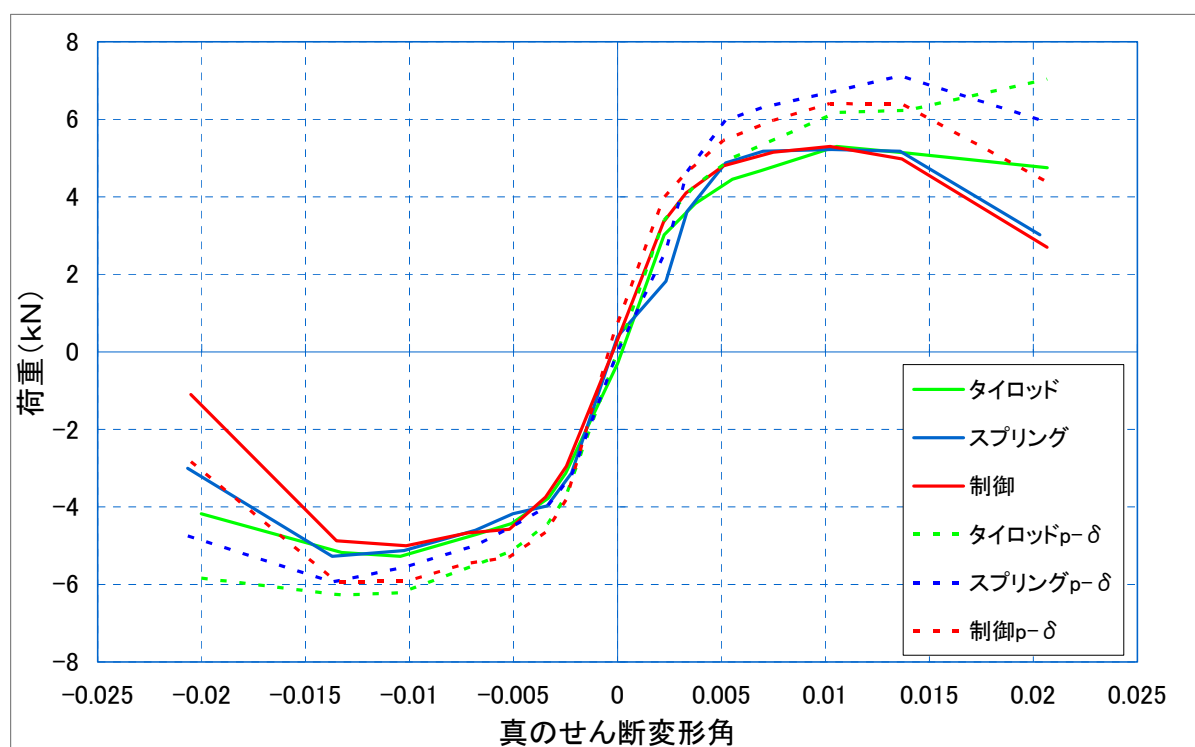


図 4.5.2-18 P- δ 効果の除去の妥当性についての検証

4. 5. 3 試験法の作業性

1) 各試験法の作業時間について

各試験法の実験前後の作業時間を求めた。その結果を表 4.5.3-1 に示す。なお、作業内容については実験前後における試験体に鉛直荷重を加えるまたは抜くまでの作業を抽出したものである。具体的には、タイロッド式はタイロッド治具に伴う作業を、錘載荷式は錘を吊すまでの作業を、鉛直荷重制御式は鉛直荷重制御用の治具や油圧ジャッキ等に伴う作業を、スプリング式はバネ載荷用治具に伴う作業を抽出している。また、ここでの点数は作業人数と時間を掛け合わせたものであり、試験法ごとの作業性を評価するための指標として算出した。

表 4. 5. 3-1 各試験法の作業時間

試験形式		作業内容	人数(人)	時間(分)	点数*
タイロッド式	実験前	タイロッド取り付け	2	5	10
		変位計取り付け	1	3	3
	実験後	タイロッド外す	3	1.5	4.5
	合計		6	9.5	17.5
錘載荷式	実験前	治具取り付け	3	14	42
		重り吊るす	6	7	42
	実験後	重りおろす	6	4.5	27
		治具取り外す	4	8	32
	合計		19	33.5	143
鉛直荷重制御式	実験前	ローラーつける	1	7	7
		治具設置	2	1.5	3
		荷重制御	2	3	6
	実験後	吊り上げる	2	4.5	9
	合計		7	16	25
スプリング式	実験前	レール取り付け	1	4.5	4.5
		バネ取り付け	2	4.7	9.4
		変位計取り付け	2	2	4
		鉛直載荷	2	3	6
	実験後	バネ緩める	2	3	6
	合計		9	16	29.9

*作業人数と作業時間を掛け合わせたもの

2) 各試験法の計測点数について

P-8 効果を除去するために必要な、鉛直荷重や水平変位などの情報数は試験法ごとに異なる。全試験体の計測位置を示したチャンネル図を図 4.5.3-1 に、そのときの各試験法の必要なチャンネルリストを表 4.5.3-2 に示す。

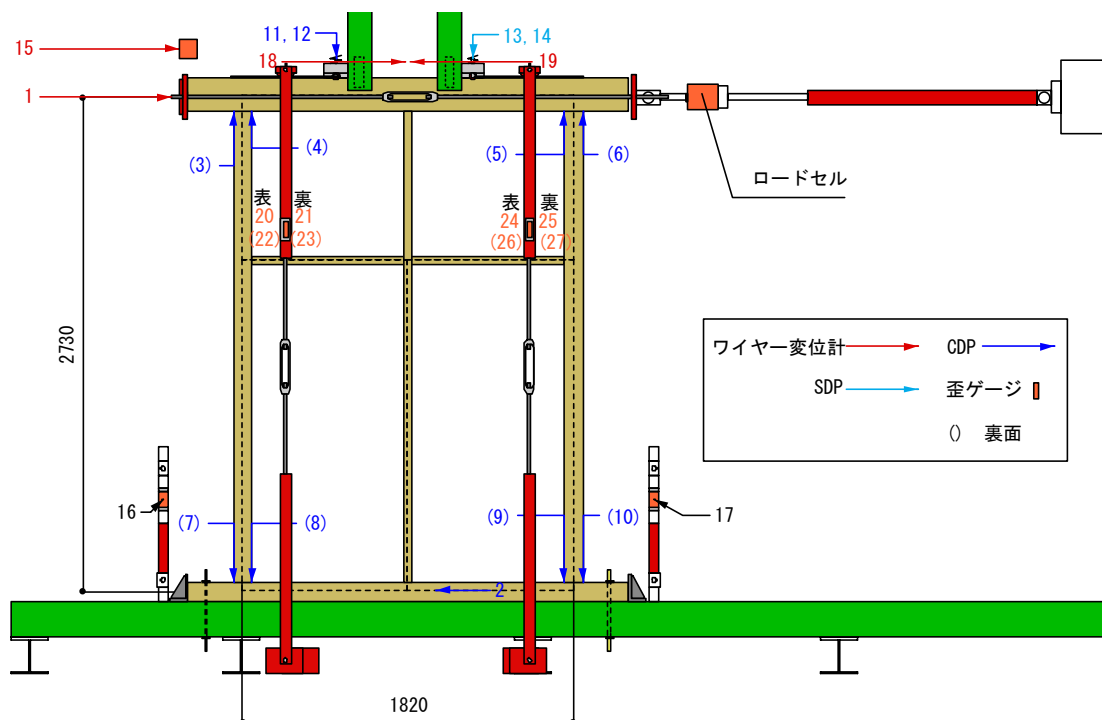


図 4.5.3-1 全試験法のチャンネル図

表 4.5.3-2 全試験法の必要チャンネルリスト

ch	機種	計測対象	計測構面	必要チャンネル			
				載荷式	バネ載荷式	鉛直荷重制御型	タイロッド式
0	ロードセル	水平荷重	頂部	○	○	○	○
1	ワイヤ変位計	頂部水平変位	梁左側	○	○	○	○
2	高感度変位計	土台水平変位	土台側面	○	○	○	○
3	高感度変位計	左柱頭部変位・抜け	左柱頭部	○	○	○	○
4	高感度変位計	左柱頭部変位・抜け	左柱頭部	○	○	○	○
5	高感度変位計	右柱頭部変位・抜け	右柱頭部	○	○	○	○
6	高感度変位計	右柱頭部変位・抜け	右柱頭部	○	○	○	○
7	高感度変位計	左柱脚部変位・抜け	左柱脚部	○	○	○	○
8	高感度変位計	左柱脚部変位・抜け	左柱脚部	○	○	○	○
9	高感度変位計	右柱脚部変位・抜け	右柱脚部	○	○	○	○
10	高感度変位計	右柱脚部変位・抜け	右柱脚部	○	○	○	○
11	高感度変位計	バネの伸縮	左前バネ	-	○	-	-
12	高感度変位計	バネの伸縮	左後ろバネ	-	○	-	-
13	一般用変位計	バネの伸縮	右前バネ	-	○	-	-
14	一般用変位計	バネの伸縮	右後ろバネ	-	○	-	-
15	ワイヤ変位計	H鋼の変位	H鋼左側	-	-	○	-
16	ロードセル	鉛直荷重	試験体左部	-	-	○	-
17	ロードセル	鉛直荷重	試験体右部	-	-	○	-
18	ワイヤ変位計	タイロッドの変位	ローラー上部	-	-	-	○
19	ワイヤ変位計	タイロッドの変位	ローラー上部	-	-	-	○
20	歪ゲージ	タイロッドの歪	表側・左タイロッドの表	-	-	-	○
21	歪ゲージ	タイロッドの歪	表側・左タイロッドの裏	-	-	-	○
22	歪ゲージ	タイロッドの歪	裏側・左タイロッドの表	-	-	-	○
23	歪ゲージ	タイロッドの歪	裏側・左タイロッドの裏	-	-	-	○
24	歪ゲージ	タイロッドの歪	表側・右タイロッドの表	-	-	-	○
25	歪ゲージ	タイロッドの歪	表側・右タイロッドの裏	-	-	-	○
26	歪ゲージ	タイロッドの歪	裏側・右タイロッドの表	-	-	-	○
27	歪ゲージ	タイロッドの歪	裏側・右タイロッドの裏	-	-	-	○
必要チャンネル数				11	15	14	21