

大型複合加力試験装置を用いたRC構造物試験について

中央試験所 構造グループ 統括リーダー代理

林崎正伸

Masanobu Hayashizaki



1. はじめに

中央試験所 構造グループは、構造試験棟の狹隘化・老朽化のために、2016年に構造試験棟を建てかえて、およそ2年が過ぎました。新構造試験棟は、今まで大学、国立研究開発法人、大手ゼネコン技術研究所など、他機関の試験装置を借用して試験してきたような大型RC造試験体などにも対応できるように、試験棟の面積を増やし高さも高くし、それら需要に対応できる試験装置をいくつか新設しました。その新設装置のひとつが「大型複合加力試験装置」です。本稿は、本装置を用いたRC構造物の試験を実施いただくにあたり、検討すべき項目などをまとめたものです。

2. 大型複合加力装置

2.1 装置概要

図1および写真1に示す大型複合加力試験装置は、1974年に建築研究所が主体で開発した建研式加力装置の派生装置です。建研式加力装置は、図2に示すRC造多層事務所構造物の柱や壁のような、建物自重による軸方向力を負担した状況下で、地震や風などの外乱を受ける構造物の性能を、より実状に近い状況で試験するために開発されました。すなわち、柱や壁でいえば、鉛直荷重をかけた状況下で、試験体の中央に反極点がある逆対称モーメントが生じるように加力できるように開発された装置です。

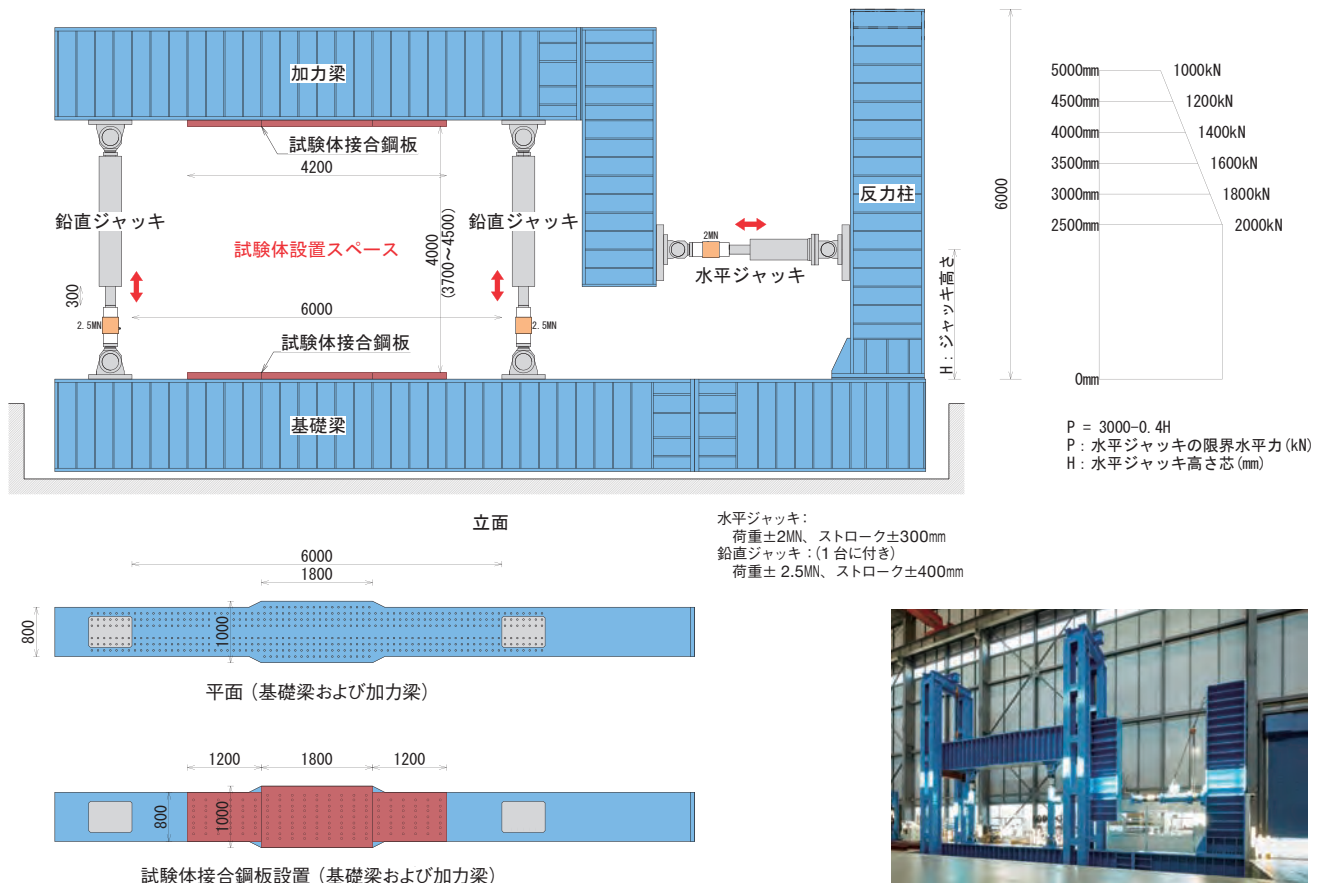


図1 大型複合加力試験装置詳細



写真1 大型複合加力試験装置

大型複合加力装置の試験体設置スペースは、高さ4.0m、幅6.0m、奥行0.8mであり、同様の派生装置と比べても大きい方です。ここに設置した試験体に、5MNの鉛直荷重、2MNの水平荷重をかけることができ、そのジャッキストロークは鉛直±400mm、水平±300mmです。図1は、鉛直ジャッキが-100mm、水平ジャッキが0mm(中立)の状態を示しています。

2.2 試験対象部位

当該装置の試験対象は、図2に示す多層RC建造物の柱、壁、柱梁接合部のような、鉛直力を考慮して耐震・台風設計される部位です。これらの部位が負担する鉛直力や水平力はそれぞれの物件、部位、試験体ごとに様々です。構造計算の略算時に使われる単位床面積当たりの鉛直荷重は、RC、SRC事務所で10~14kN/m²、S造事務所で6~8kN/m²、RC、SRCのマンションで11~15kN/m²といわれています。7~10階建てRC造事務所の設計を2、3例見ますと、1フロア当たりの中柱1本の負担面積は50m²程度でしたので、1フロア当たり500~700kNとなります。試験装置の最大5MNから逆算すれば、7~10階分に相当する鉛直荷重をかけられることとなります。水平荷重は、主耐力要素ならばC₀=2.0の10MNほどが必要と考えられますが、残

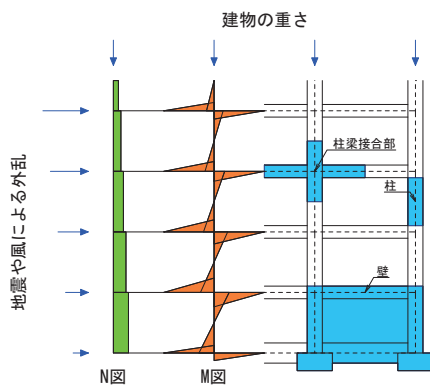
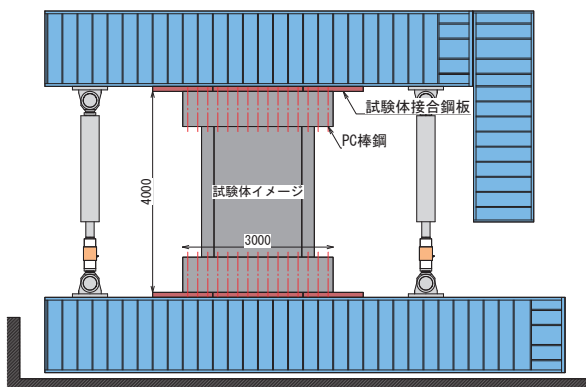


図2 多層RC造建造物イメージ



(注)1.試験体質量は10ton以下が望ましい。(天井クレーンの最大揚量から)
2.試験体は、φ32mmPC棒鋼で、試験体接合鋼板に取り付ける。
PC棒鋼:φ32mm、ねじの呼びM33×2.0、ピッチ2.0mm

図3 壁および柱部材の試験体設置イメージ

念ながら当該装置の水平ジャッキはその能力が不足しています。

前述は、実大試験体での例であり、たとえば、RC造の既往の研究では、試験体の長さを1/2~1/2.5倍に縮尺したモデルでの試験実施が多いようです。したがって、縮尺モデル試験体の必要荷重は、実大試験体の1/4~1/6.25倍になります。

3. 試験体取付方法および試験方法

3.1 壁および柱部材の試験手順

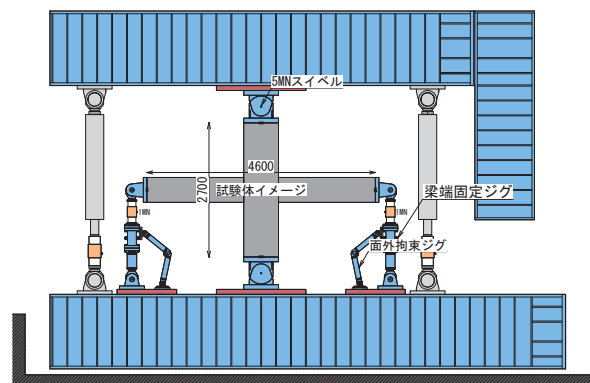
図3に壁および柱部材の試験体設置イメージを示します。試験体と加力梁および基礎梁との緊結は、上下方向は、既存の試験体接合鋼板を介してPC棒鋼(M32)で留め付け、水平方向は、既存のストッパーを取り付けます。PC棒鋼は、試験体によって長さが変わるので、試験の依頼ごとに用意する必要があります。

試験体を取り付けた後、鉛直ジャッキによって鉛直力を導入します。この時、2本の鉛直ジャッキは、加力梁と基礎梁がつねに平行を保つようにPCで制御します。その後、水平ジャッキで正負交番繰返しなどの水平荷重を加えます。この間、コンピューター制御によって鉛直力は一定を保ち、加力梁は基礎梁と水平を保ちますので、試験体には、柱上下端部の回転剛性が同じならば、つねに逆対称モーメントが生じるようになります。

3.2 柱梁接合部の試験手順

図4に十字形接合部の試験イメージを示します。当該試験装置は、十字形接合部、T形接合部の試験もできます。

試験体の柱端部と加力梁および基礎梁とは、既存5MNスイベルを介して緊結します。ただし、現在、スイベルと試験体との留め付け方法は、試験体によって千差万別なので、ジグは、試験体ごとに設計して用意することとしています。梁端部も、柱端部と同じで、試験体とスイベルの取り付け専用ジグは用意していませんが、梁端部を鉛直支持



(注)1.試験体質量は10ton以下が望ましい。(天井クレーンの最大揚量から)
2.柱上下のスイベルおよび梁端固定ジグは所有。
3.試験体-スイベルおよび試験体-梁端固定ジグの接続方法は、検討が必要。

図4 十字形接合部の試験体設置イメージ

する固定ジグは導入済みです。前述のまだ用意していない
 接合ジグに関しては、試験体ごとに用意すると、試験料金が
 割高になってしまうため、2019年度は汎用ジグの設計・
 作成を予定しています。

試験体取り付け後に、柱に鉛直荷重を加えて、所定荷重に
 達した後、梁端部に固定ジグおよび面外拘束ジグを取り
 付け、水平荷重を加えます。試験開始後、コンピューター
 制御によって鉛直力を一定に保ちながら正負交番繰返しな
 どの水平荷重を加えるのは、3.1と同様です。

4. 測定荷重の取り扱い方法

当該装置で壁・柱試験をする時に、荷重は、鉛直水平各
 ジャッキ先端に取り付けたロードセルで測定します。十字
 形・T形試験体では、前述に、梁端固定ジグに取り付けた
 ロードセルの測定値が加わります。装置の仕組上、試験体
 の変形がすすむと、図5のように、ジャッキや固定ジグに
 傾きが生じます。よって、測定荷重を分解して、正しい水
 平、鉛直方向の荷重を計算する方法を示します。

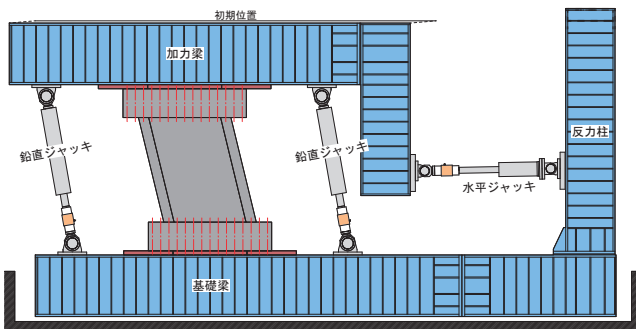
計算を簡単にするために、柱・壁試験体で解きますと、
 図5の加力梁に対するモーメントを除く外力は、図6のよ
 うに働きます。原点を図6の右下に置き、座標をY方向は
 上+、X方向は左+と定めて、荷重、変位ともに全体座標
 系で考えます。図6の黒丸は梁の移動量を表します。加力
 梁には、矢印のように加力梁の重量、試験体からの水平力
 および鉛直力、ジャッキ力が入ります。ジャッキ力は変形
 に全体座標系に対して傾き θ 、 ϕ が生じます。この傾きは、
 試験体の変形にともなう装置の幾何学的な傾きで、
 刻々と変化します。これを分解してX、Y方向それぞれで
 つり合い式をたてます。

つり合い式：

$$X \text{ 方向} : Q + P_H \cos \theta + P_V \sin \phi = 0$$

$$Y \text{ 方向} : N + W + P_H \sin \theta + P_V \cos \phi = 0$$

ただし、鉛直ジャッキロードセルは、自重 W を負担し
 た状態でイニシャルをとっているため、
 $P_{V0} + W = 0$ としました。



(注) 1.鉛直ジャッキは、高さを変動させず、10度回転した。
 2.水平ジャッキは、+630mm変形させた。(性能以上の変形であり、実際には不可能)

図5 加力イメージ

したがって、

$$X \text{ 方向} : Q + P_H \cos \theta + (P_V + W - W) \sin \phi = 0$$

$$Y \text{ 方向} : N + W + P_H \sin \theta + (P_V + W - W) \cos \phi = 0$$

ここで、 $P_{LV} = P_V + W$ (ロードセルのイニシャル値をド
 リフト)と置くと、

$$X \text{ 方向} : Q + P_H \cos \theta + (P_{LV} - W) \sin \phi = 0$$

$$Y \text{ 方向} : N + W + P_H \sin \theta + (P_{LV} - W) \cos \phi = 0$$

ゆえに、

$$Q = -P_H \cos \theta - (P_{LV} - W) \sin \phi$$

$$N = -W - P_H \sin \theta - (P_{LV} - W) \cos \phi \text{ となります。}$$

Q : 試験体からの水平力、 N : 試験体からの鉛直力

W : 加力梁および鉛直ジャッキの自重

P_H : 水平ジャッキ荷重

P_V : 鉛直ジャッキ荷重 = 鉛直ロードセル荷重

P_{LV} : 鉛直ジャッキロードセル荷重

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{L_{H-x}} \right) : \text{水平ジャッキの傾き}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{x}{L_{V-y}} \right) : \text{鉛直ジャッキの傾き}$$

L_x : 試験開始時の水平ジャッキヒンジ間距離

L_y : 試験開始時の鉛直ジャッキヒンジ間距離

前述式を用いて、柱試験体を例に検討しました。図7に
 計算モデルを示します。図7は、試験体の上側から圧縮力
 を、右側から水平力をかけたときの変形イメージであり、
 試験体自身は、軸力によって高さが変動せず、鉛直変位 Y
 は、幾何学的な回転でのみ上下方向に動くものと仮定しまし
 た。実際の試験でも、圧縮力による試験体の高さ変動はあ
 まりありません。水平変位 X は水平ジャッキで試験体に強
 制的に与える変位です。よって、変位 X 、 Y は、

$$X = L_V \sin \phi, \quad Y = L_V (\cos \phi - 1) \text{ となります。}$$

鉛直ジャッキの傾き θ は、 $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{y}{L_{x+x}} \right)$ となります。

図1の装置初期状態と同様に、 L_V を 4000mm、 L_H を
 2430mmとして、 θ および ϕ の三角関数を計算すると図8

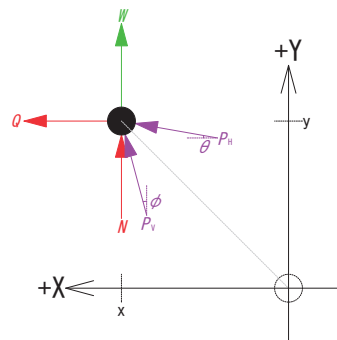


図6 加力梁に対する外力

になります。これらは、 Q および N の算出に用いる値で、水平ジャッキ P_H 、鉛直ジャッキ P_V 、加力梁の自重 W が、それぞれ Q および N に及ぼす影響を判断できます。例では、鉛直ジャッキ力と加力梁の自重が水平方向に及ぼす影響が最も大きいです。試験体を水平方向に300mmまで変形させると、鉛直ジャッキロードセルが検出する荷重のおよそ7%が Q に影響を及ぼすことがわかります。ただし、この例では、傾きからその成分の方向を調べているだけで、実際に試験で加える荷重の大きさによってその影響は大きく変わります。よって試験実施後には、前述の計算により水平・鉛直方向の正しい荷重を算出するのが望ましいのではないのでしょうか。

5. 柱梁接合部試験に関する検討

図9のト形試験体の試験イメージを例に考えました。矢印は試験体に対する外力を示し、青は既知、赤は未知を表します。左図は試験開始時に圧縮軸力 P_V のみを負荷した状態で、右図は、その後、水平荷重 P_H を右からかけ、試験体が θ 回転した図です。ただし、図は変形が見やすいようになりに大きく回転させており、実際の回転角 θ は、ず

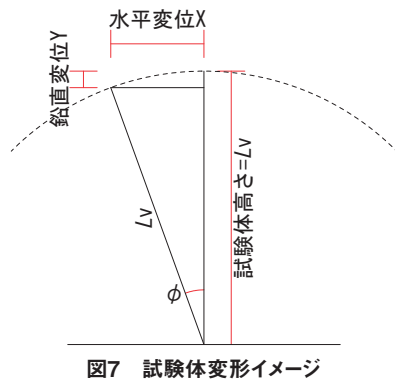


図7 試験体変形イメージ

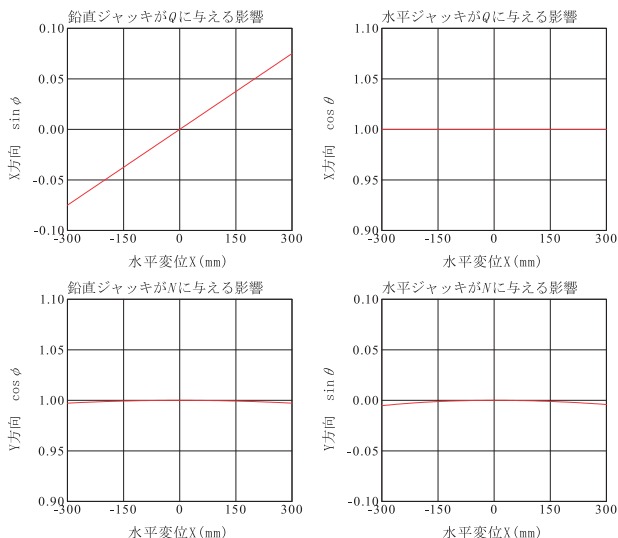


図8 ジャッキの傾きが Q と N に及ぼす影響

っと小さい値です。図に示すように、試験開始時の N の大きさは、 P_V と等しくなります。しかし、試験中 N は一定値ではなく、梁端外力 P_B によって N' のように変動します。これは、ト形試験体が想定している隅柱では、実際に起こる現象ではないのでしょうか。

より実構造物に近い試験を実施するという観点からみると、この試験体を抜き出した位置よりも上階で同じように軸力変動があれば、 P_V を変動させる必要があるのではないのでしょうか。一方で、その試験結果は特解側によるので、汎用性が損なわれてしまうともいえます。また、 P_B の分力 $P_B \cdot \sin \theta$ は、梁に引張力を与えますが、実建物では生じません。既往の研究では、図のように梁端固定ジグの下側固定点をA点ではなく、A'点のように長くしているものが多いです。これは、 P_B の傾きを極力抑えて引張力を小さくするための工夫ではないのでしょうか。このような、試験実施上のコツを既往の研究などから取り入れて、よりお客様のご要望にこたえられるように努めてまいります。

6. まとめ

「大型複合試験装置」について、仕様、規模、試験体の最大寸法、試験装置への取り付け方法、測定値の取り扱い方、特徴などをまとめました。当該装置を利用いただき、より生産性の高い結果を提供できるように努めてまいります。

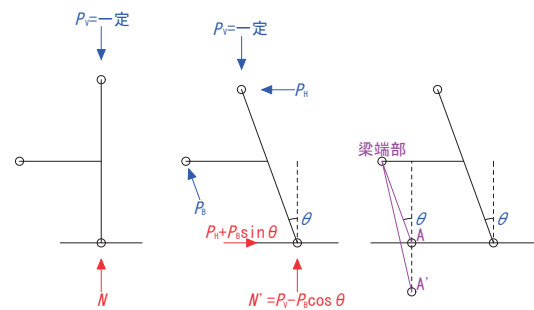


図9 ト形試験体の試験イメージ

参考文献

- 1) 株式会社建築技術：月刊建築技術，PP.142-147，2007.6
- 2) 日本建築学会関東支部：鉄筋コンクリート構造の設計-学びやすい構造設計，2014.5
- 3) 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の構造実験評価研究委員会報告書，2004.3

【お問い合わせ先】

中央試験所 構造グループ

TEL：048-935-9000 FAX：048-931-8684