

# 論文 高軸力時における鋼製ディスク型シャキーの力学モデルの提案

阿部 隆英\*1・坂本 啓太\*2・野村 愛和\*3・石塚 広一\*4

**要旨:** 免震支承を交換する場合, 建築物をジャッキアップするため, 免震基礎フーチングを補強キャピタルで補強し, これらの接合部は限りなく一体化であることが望まれる。そのため, この接合面に高軸力を生じさせると共に, 高いせん断剛性とせん断耐力を有する鋼製ディスク型シャキーを配置し, この接合部を模擬したせん断実験を実施した。本論文では, 高軸力時の接合面の力学挙動を把握し, 設計に適用することを目的とした鋼製ディスク型シャキーの力学モデルを提案した。その結果, 提案する力学モデルは, 高い精度で実験値を推定できることを示した。

**キーワード:** 高軸力, 鋼製ディスク型シャキー, 接合部, 免震, せん断耐力, 力学モデル

## 1. はじめに

免震建築物が将来にわたり確実に免震機能を発揮し, 建物の安全性を確保できるようにするためには免震材料の十分な維持管理が必要である。免震建築物は, 竣工後の定期点検や災害時の応急点検において異常が確認された場合, 免震支承の計測などを含めた詳細点検を行う。免震支承の詳細点検の結果, 劣化等により交換する必要がある場合は, 油圧ジャッキを使用し, 一時的に建築物をジャッキアップして交換を行う手法が一般的<sup>(例えば 1)</sup>である。

油圧ジャッキを設置するためには既存部の免震基礎フーチングに十分な大きさが必要であり, ジャッキアップ時の油圧ジャッキを設置する既存躯体は, 極力弾性範囲かつ荷重に対して十分な安全を有する必要があるため, 免震基礎フーチングに増し打ち(以下, 増し打ち部分を補強キャピタルと称する。)を行うことがある。図-1に補強キャピタルによる免震基礎フーチングの補強例を示す。既存部の免震基礎フーチングと補強キャピタルを限りなく一体化させてジャッキアップすることが望まれるため, 接合面には高いせん断剛性とせん断耐力を有した接合部材を配置することが必要となる。そこで著者らは, 高いせん断剛性とせん断耐力を有している鋼製ディスク型シャキー<sup>(例えば 2)</sup>を適用することが有効であると考えた。

コンクリートに支圧抵抗する接合要素は, 接合面に生じる圧縮軸力やコンクリート強度に, せん断剛性やせん断耐力が依存する<sup>2),3)</sup>。そのため, 前述に示すように限りなく免震基礎フーチングと補強キャピタルを一体化させるためには, 接合面に高い圧縮軸力(以下, 高軸力と称す。)を人為的に与え, 高いせん断剛性とせん断耐力を

揮させることで, 接合面のせん断変位を抑えることが有効である。

これらの背景より, 本論文では免震基礎フーチングを補強キャピタルにより補強することを模擬し, 接合面に高軸力を生じさせた, 接合部のせん断実験を実施した。また, 実際の施工では, PC 鋼線で免震基礎フーチングと補強キャピタルを緊結することで, 接合面に高い軸力を生じさせる。PC 鋼線で接合面に与えることができる圧縮軸力は, 1 本当たり最大約 1000kN であり, 圧縮軸力  $N$  を接合面の面積  $A$  で除した値である接合面の単位面積当たり平均圧縮応力度  $\sigma_0$  は, おおよそ  $0.5 \sim 4.0 \text{N/mm}^2$  である。この値は内付け補強による耐震補強時の  $\sigma_0$  が  $0.4 \text{N/mm}^2$  程度<sup>2)</sup>であることから, 接合面に与える  $\sigma_0$  は大きい値であると言える。 $\sigma_0$  の算定式を下記に示す。

$$\sigma_0 = N/A \tag{1}$$

実務の設計の際には, ジャッキアップ時の建築物の傾き等を抑えるため, 接合面のせん断変位を考慮することがある。更にジャッキアップする時の接合面のせん断変位が, 設計で設定したせん断変位以下となることを確認し, 免震支承の交換作業が安全に行えることが重要であ

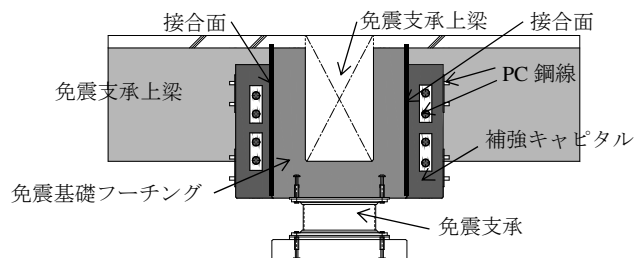


図-1 補強キャピタルによる免震基礎フーチングの補強例

\*1 飛島建設(株) 耐震ソリューション部 主任 (正会員)

\*2 飛島建設(株) 耐震ソリューション部 主任 修士(工学)(正会員)

\*3 (株) 構造計画研究所 構造設計2部 (非会員)

\*4 (株) 構造計画研究所 構造設計2部 室長 (非会員)

表-1 試験体一覧及び材料試験結果

試験体 No.	鋼製ディスク型 シャキーのディスク の直径 $R_d$ (mm)	平均圧縮 応力度 $\sigma_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	既存部コンクリート		補強部コンクリート	
			圧縮強度 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
90-0.5H	90	0.5	55.8	33.2	75.3	39.4
90-2.25L			36.6	28.9	72.0	37.0
90-2.25M		2.25	45.8	31.5	83.7	41.6
90-2.25H			60.2	33.8	78.6	39.1
90-4.0L		4.0	38.5	28.3	76.0	38.1
90-4.0M			45.8	31.5	83.7	41.6
60-0.5H	60	0.5	55.8	33.2	75.3	39.4
60-2.25L			36.6	28.9	72.0	37.0
60-2.25M		2.25	45.8	31.5	83.7	41.6
60-2.25H			57.3	33.4	74.6	38.7
60-4.0L		4.0	38.5	28.3	76.0	38.1
60-4.0M			45.8	31.5	83.7	41.6
60-4.0H			60.2	33.8	78.6	39.1

※ 試験体 No.の凡例： $\frac{90}{R_d}$  -  $\frac{4.0}{\sigma_0}$   $\frac{L}{\sigma_B}$   $\sigma_B$  : L 低水準, M 中水準, H 高水準

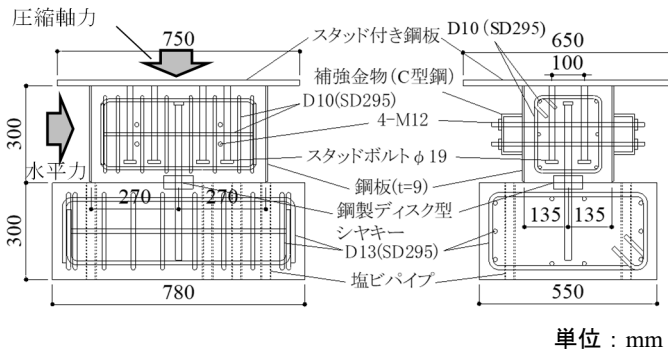


図-2 試験体の諸元寸法

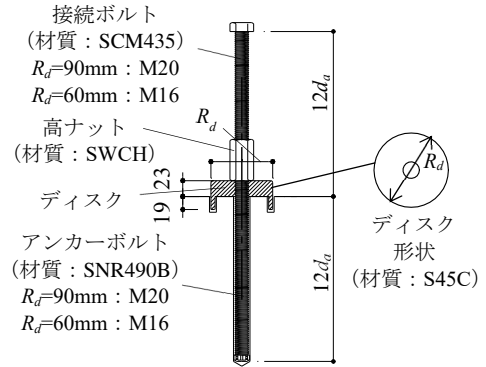


図-3 鋼製ディスク型シャキーの概要

る。これらから、設計では高軸力時における接合面の力学モデルを用いてせん断変位を制御することが必要であると考えられる。

以上より本論文では、高軸力時の $\sigma_0$ の違いによる鋼製ディスク型シャキーを用いた接合部の力学挙動を実験から検証し、力学モデルを提案することを目的とする。なお、本論文の対象とする部位は、新築時に免震建築物として建設されており、その建築物の免震支承を交換する際の補強キャピタルと既存躯体の接合部を想定している。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験パラメータ

パラメータは、鋼製ディスク型シャキーのせん断耐力に依存する既存部コンクリート強度 $\sigma_B$ と $\sigma_0$ とした。また、鋼製ディスク型シャキーのタイプはディスクの直径 $R_d=90\text{mm}$ と $R_d=60\text{mm}$ の2種類とした。表-1に試験体一覧及び材料試験結果を示す。既存部のコンクリート強度は、免震基礎フーチングを想定し、配合強度24~40N/mm<sup>2</sup>の範囲で3水準として打設した結果、 $\sigma_B$ は36.6~60.2N/mm<sup>2</sup>の範囲であった。また、破壊形式を既存部での支圧破壊とするため、補強キャピタルを想定した補強部のコンクリートの配合強度を60N/mm<sup>2</sup>とした。 $\sigma_0$ は

前章で述べた0.5~4.0N/mm<sup>2</sup>の範囲とし、0.5, 2.25, 4.0N/mm<sup>2</sup>の3水準とした。

### 2.2 試験体の形状及び諸元寸法

実際の施工では、補強キャピタルの破壊が極力生じないように、十分なへりあきとはしあきを有して鋼製ディスク型シャキーを配置する。このことから、試験体の補強部においても同様に、補強部での破壊を極力生じさせないことに配慮し、補強部は図-2に示すように周囲を鋼板で補強され、更に載荷時に鋼板が膨らまないようにボルトで拘束されている。図-2に試験体の諸元寸法を示す。また、補強部が加力治具と一体となって稼働するように、加力装置と連結する鋼板(以下、スタッド鋼板と称する)にスタッドボルトを配置した。補強部側の接合面の寸法は、はしあきを $R_d=90\text{mm}$ の3倍である270mmとし、へりあきを $R_d=90\text{mm}$ の1.5倍の135mmとした。また、 $R_d=60\text{mm}$ の試験体においても同様の寸法とした。なお、既存部側のコンクリートの形状は、長さ780mm、幅550mm、高さ300mmの直方体とした。

図-3に鋼製ディスク型シャキーの概要を示す。鋼製ディスク型シャキーのアンカーボルトの埋め込み深さは、十分に定着が確保できるようにアンカーボルトの直径 $d_a$ の12倍( $12d_a$ )とした。

### 2.3 試験体の製作方法

はじめに、既存部コンクリート側の型枠を垂直に立てて組み、コンクリートを打設した。鋼製ディスク型シャキーを配置する接合面は基礎部分であるため、接合面の状態はコンクリート用パネル合板を型枠として用いた、打ち放しであることが想定される。この接合面の状態は、小さな凹凸が全面に渡り生じることから、補強部と既存部のコンクリート同士による付着抵抗や凹凸による噛み合い抵抗が生じると考えられる。そこで本論文では、高軸力時の純粋な鋼製ディスク型シャキーによる力学モデルを提案することを目的としていることから、抵抗要素を極力排除するため、既存側の型枠に表面加工コンクリート型枠用合板を用い、コンクリート打設後、接合面にグリスを塗布した。

既存部コンクリートの型枠を脱型した後、試験体を平置きとした状態で鋼製ディスク型シャキーを施工した。また、鋼製ディスク型シャキーの定着には、注入型の有機系接着剤を用いている。その後、補強部側の配筋を行い、スタッド鋼板を設置した。補強部側は、スタッド鋼板と補強部の間に間隙が生じないように、スタッド鋼板の下面から約 50mm までコンクリートを打設し、コンクリート硬化後に高強度無収縮モルタルを充填した。なお、

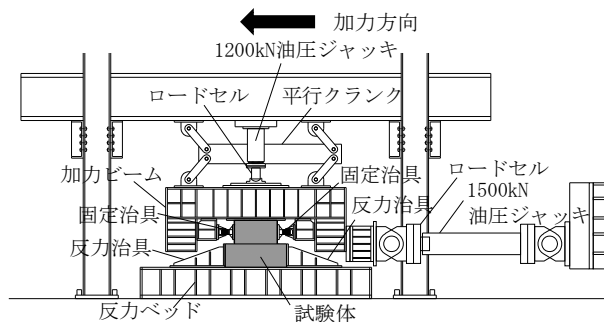


図-4 加力装置

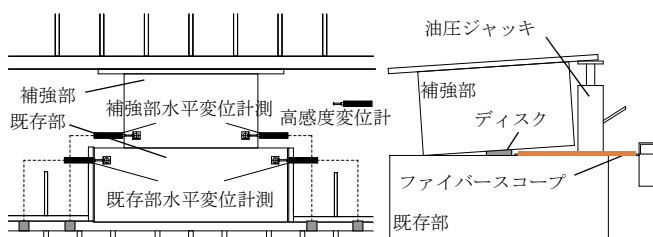
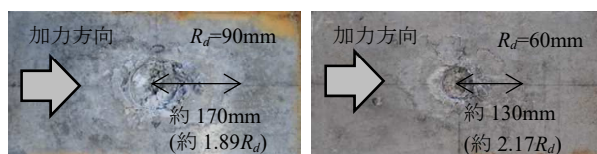


図-5 計測計画

図-6 破壊形式観察状況



(a) 90-L2.25 (b) 60-L4.0

写真-1 最終破壊形式

実際の施工では、施工態勢等が試験体の施工と異なるが、吉水ら<sup>4)</sup>は実建物で行ったせん断試験においても所定のせん断力を得たことを報告している。このことから、施工態勢による耐力の違いは、極めて小さいと言える。

### 2.4 加力方法及び計測方法

軸方向は一定の圧縮軸力とし、水平方向は一方単調載荷とした。加力装置を図-4に示す。加力装置は、軸力を制御するために1200kNの油圧ジャッキを用い、水平力は1500kNの油圧ジャッキを使用して制御した。

計測計画を図-5に示す。計測は、既存部及び補強部それぞれの水平変位の絶対変位を、2箇所ずつ高感度変位計を配置して行った。また、接合面のせん断変位 $\delta$ は、それぞれ補強部の計測値の平均から既存部の計測値の平均を引いた値とした。

## 3. 実験結果

本章では、はじめに最終破壊形式について観察した結果を示し、続いて変動因子毎におけるせん断耐力や力学挙動について考察する。

### 3.1 最終破壊形式

載荷終了後、既存部と補強部の分離が可能であった試験体においては、直接目視で最終破壊形式を観察した。また、分離ができない試験体に関しては、図-6に示すように既存部と補強部の間にファイバースコープを挿入して破壊状況を観察した。目視による最終破壊状況の一例を写真-1に示し、表-2に最終破壊形式一覧を示す。著者らが想定した通り、最終破壊形式は既存部側のコンクリートの支圧破壊が顕著であった。また、既存部の支圧破壊の範囲は、写真-1に示すようにせん断加力方向に $2R_d$ 程度であった。

### 3.2 水平荷重 $Q$ -せん断変位 $\delta$ 関係

一般的な接合部の設計では $\delta$ を2mm以下に抑えている<sup>5)</sup>ことや、 $\delta=2$ mmまでのせん断力を評価の一つとして扱っている<sup>(例えば2)</sup>ことから、図-7に $\delta=2$ mmまでに着眼

表-2 最終破壊形式一覧

試験体 No.	調査方法	破壊形式
90-0.5H	目視	既存部支圧破壊
90-2.25L	目視	既存部支圧破壊
90-2.25M	目視	既存部支圧破壊
90-2.25H	確認できず	-
90-4.0L	目視	既存部支圧破壊、 一部補強部支圧破壊
90-4.0M	確認できず	-
60-0.5H	ファイバースコープ	既存部支圧破壊
60-2.25L	目視	既存部支圧破壊
60-2.25M	ファイバースコープ	既存部支圧破壊
60-2.25H	ファイバースコープ	既存部支圧破壊
60-4.0L	目視	既存部支圧破壊
60-4.0M	確認できず	-
60-4.0H	目視	既存部支圧破壊

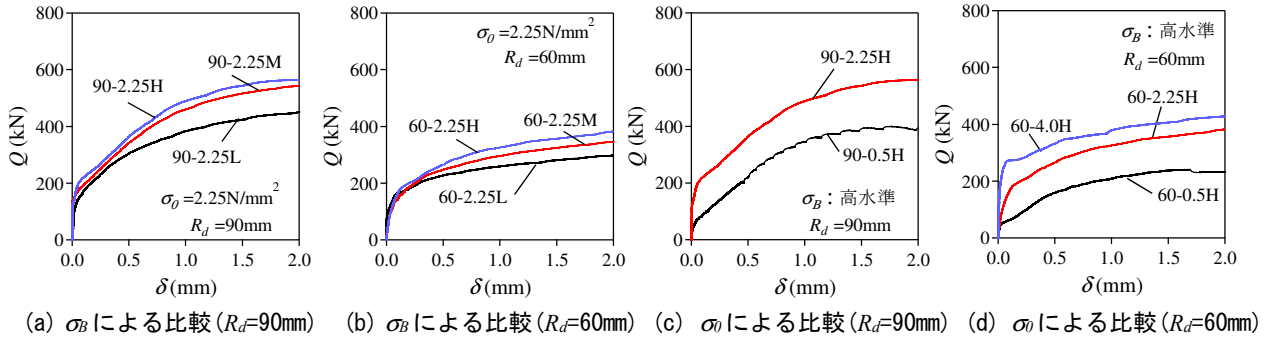


図-7 水平荷重  $Q$ -せん断変位  $\delta$  関係

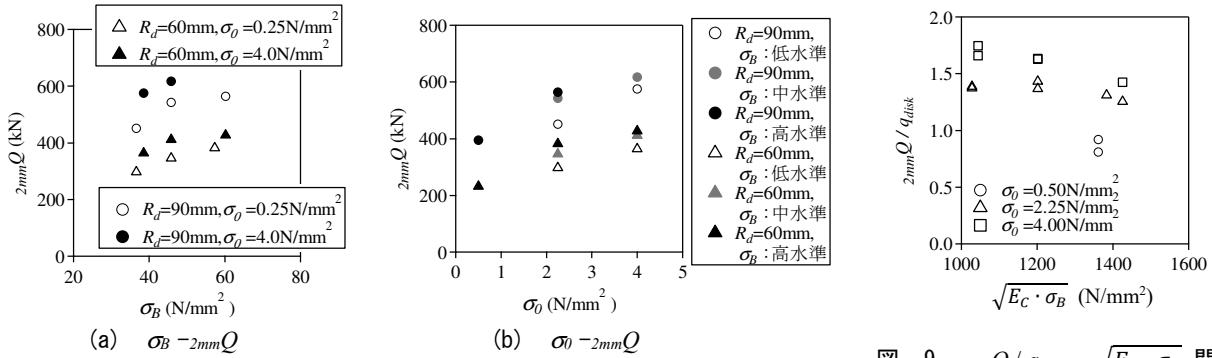


図-8  $2mmQ - \sigma_B$  及び  $2mmQ - \sigma_0$  関係

図-9  $2mmQ / q_{disk} - \sqrt{E_C \cdot \sigma_B}$  関係

した水平荷重  $Q$ -せん断変位  $\delta$  関係を示す。同図に示すように、 $\sigma_B$ 、 $\sigma_0$  毎にそれぞれ  $Q - \delta$  関係を比較すると、 $R_d=90mm$ 、 $60mm$  共に  $\sigma_B$ 、 $\sigma_0$  が大きい程、 $Q$  は大きい値を推移している。また、 $\delta$  が漸増することに伴い、剛性は徐々に低下し、 $\delta=2mm$  時で概ね  $Q$  はある一定の値に近づいていることが窺える。そこで、前述の通り  $\delta=2mm$  を設計に用いる限界変位と捉え、その時の  $Q$  を最大せん断力とここでは仮定する。

### 3.3 $\delta=2mm$ 時のせん断力 $2mmQ$

本節では、 $Q$  が概ね最大せん断力を迎える  $\delta=2mm$  時のせん断力  $2mmQ$  について、変動因子毎に観察する。図-8 に  $2mmQ - \sigma_B$  及び  $2mmQ - \sigma_0$  関係を示す。同図に示すように、 $\sigma_B$ 、 $\sigma_0$  が大きい程、 $2mmQ$  は大きい値を呈している。また、 $2mmQ$  は  $\sigma_B$ 、 $\sigma_0$  とそれぞれ相関関係を有しているように窺える。次章ではこれらの相関関係から  $2mmQ$  を定量的に評価することを試みる。

## 4. せん断耐力式

### 4.1 既往のせん断耐力式

高瀬らは、耐震補強の接合部に適用した場合の鋼製ディスク型シヤキーのせん断耐力式を下記に示すように提案<sup>2),6)</sup>している。

$$q_{jd} = 0.8 \cdot q_{disk} \quad (2)$$

$$q_{disk} = 0.235 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot A_B \sqrt{E_C \cdot \sigma_B} \quad (3)$$

$$A_B = \pi \cdot R_d \cdot h_d / 4 \quad (4)$$

ここに  $q_{disk}$ 、 $q_{jd}$  は、それぞれせん断耐力の計算値と設

計値、 $A_B$  は既存コンクリートに対するディスクの支圧面積、 $h_d$  は既存コンクリートへのディスクの埋め込み深さ、 $K_1$  は既存部のへりあきによる低減係数、 $K_2$  アンカーボルトの埋め込み深さによる低減係数である。また、本実験では  $K_1=1$ 、 $K_2=1$  である。

式(3)で算定される  $q_{disk}$  は、前述の通り耐震補強の接合部を想定していることから、 $\sigma_0=0.4N/mm^2$  程度、 $9 \leq \sigma_B \leq 33N/mm^2$  程度の範囲<sup>2)</sup>、コンクリート種別は普通コンクリートで適用されるが、本論文の範囲は、 $\sigma_B > 33N/mm^2$ 、 $0.5 \leq \sigma_0 \leq 4.0N/mm^2$  であり、コンクリート種別は高強度コンクリートも含まれる。しかしながら式(2)~(4)は本論文と同様に、 $\delta$  の範囲が  $2mm$  以下で評価されていることや、表-2 に示すように、破壊形式が既存部コンクリートの支圧破壊を条件に構築されていることから、式(3)のせん断耐力式に  $\sqrt{E_C \cdot \sigma_B}$  と  $\sigma_0$  による補正係数を用いることで、本実験の結果を推定することができそうである。

### 4.2 せん断耐力式の提案

本節では、式(3)による  $q_{disk}$  と本実験の  $2mmQ$  を比較検証し、本論文の適用範囲に適用できるせん断耐力式を提案する。

本論文の適用範囲におけるせん断耐力の計算値を  $q'_{disk}$  と置くと、次式に示すように  $q'_{disk}$  は  $q_{disk}$  に  $\sqrt{E_C \cdot \sigma_B}$  による補正係数  $K_{con}$  と、 $\sigma_0$  による補正係数  $K_{comp}$  を乗じて表すことができる。

$$q'_{disk} = q_{disk} \cdot K_{con} \cdot K_{comp} \quad (5)$$

はじめに  $K_{con}$  について検討する。図-9 に  $2mmQ/q_{disk} -$

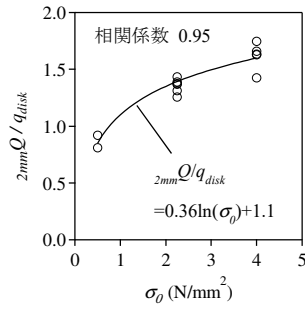


図-10  $2mmQ/q_{disk} - \sigma_0$  関係

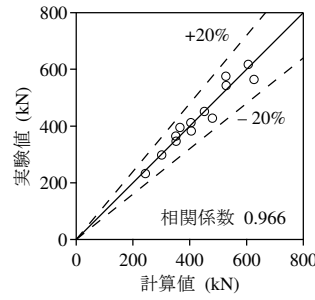


図-11 実験値  $2mmQ$  と計算値  $q'_{disk}$  の比較

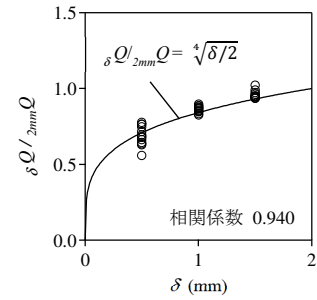
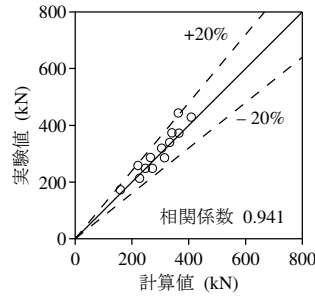
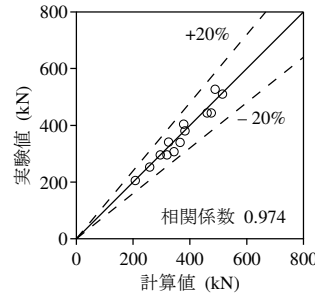


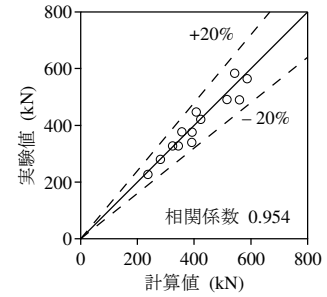
図-12  $Q / 2mmQ - \delta$  関係



(a)  $\delta=0.5mm$

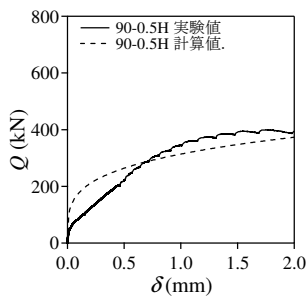


(b)  $\delta=1.0mm$

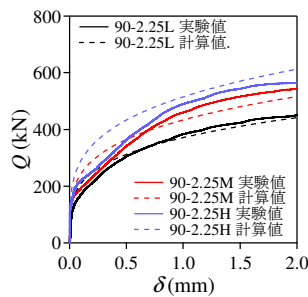


(c)  $\delta=1.5mm$

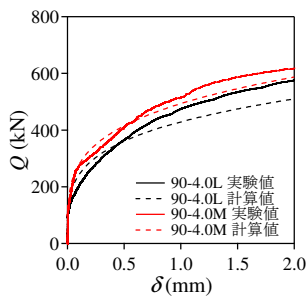
図-13  $\delta=0.5, 1.0, 1.5mm$  における実験値と計算値の比較



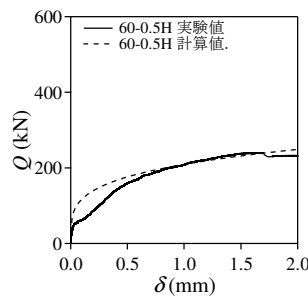
(a)  $R_d=90mm, \sigma_0=0.5N/mm^2$



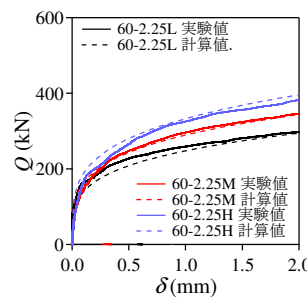
(b)  $R_d=90mm, \sigma_0=2.25N/mm^2$



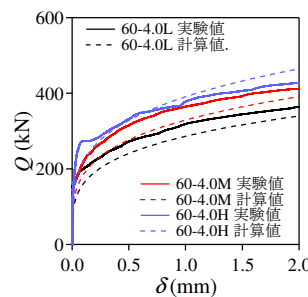
(c)  $R_d=90mm, \sigma_0=4.0N/mm^2$



(d)  $R_d=60mm, \sigma_0=0.5N/mm^2$



(e)  $R_d=60mm, \sigma_0=2.25N/mm^2$



(f)  $R_d=60mm, \sigma_0=4.0N/mm^2$

図-14 力学モデルにおける実験値と計算値の比較

$\sqrt{E_C \cdot \sigma_B}$  関係を示す。同図の  $\sigma_0$  毎に観察すると、 $\sigma_0=4.0N/mm^2$  においては  $\sqrt{E_C \cdot \sigma_B}$  が大きい程、 $2mmQ/q_{disk}$  は若干小さい値を示す傾向が見られる。しかしながら、 $\sigma_0=2.25N/mm^2$  の  $2mmQ/q_{disk}$  は  $\sqrt{E_C \cdot \sigma_B}$  に対して概ね一定の値であることが窺えることや、設計に用いるせん断耐力式を簡便にすることに配慮し本論文では  $K_{con}=1$  とする。

続いて  $K_{comp}$  について検討する。図-10 に  $2mmQ/q_{disk} - \sigma_0$  関係を示す。 $2mmQ/q_{disk}$  は  $\sigma_0$  が增大するに連れ、徐々に増加する割合が小さくなるものの、漸増する傾向が見られる。本論文では、この相関関係を高い精度で表現することが重要であると捉え、近似式は相関係数が大きいこと、並びに前述の傾向を表現できる関数であることを考慮して、対数による関数を用いる。以上より、 $K_{comp}$  は次式のように表せる。

$$K_{comp} = 0.36 \ln(\sigma_0) + 1.1 \quad (6)$$

### 4.3 実験値と計算値の比較

図-11 に実験値  $2mmQ$  と計算値  $q'_{disk}$  の比較を示す。計算値と実験値の相関係数は 0.966 であり、 $K_{comp}$  を用いることで、計算値  $q'_{disk}$  は高い精度で実験値  $2mmQ$  を推定できる。

## 5. 力学モデル

本章では、前章で提案したせん断耐力式で算定される  $q'_{disk}$  を用いて、力学モデルを提案する。

### 5.1 せん断耐力式の提案

せん断変位  $\delta$  時のせん断力を  $\delta Q$  とすると、次式に示すように  $\delta Q$  は  $\delta$  による  $q'_{disk}$  に対する割合を表す関数

$f(\delta)$  を乗じて表現できると仮定する。

$$\delta Q = q'_{disk} \cdot f(\delta) \quad (7)$$

${}_{2mm}Q$  と  $\delta=0.5\text{mm}$ ,  $1.0\text{mm}$ ,  $1.5\text{mm}$  時の水平荷重をそれぞれ比較する。図-12 に  $\delta Q/{}_{2mm}Q - \delta$  関係を示す。 $\delta=0.5\text{mm}$ ,  $1.0\text{mm}$ ,  $1.5\text{mm}$  時の  $\delta Q/{}_{2mm}Q$  の平均値は、それぞれ 0.69, 0.86, 0.96 であり、 $\delta=0.5\text{mm}$  までの剛性は高く、それ以降は剛性が低下していることがわかる。また、この傾向は図-7 に示す全試験体の挙動を包括的に捉えている。そこで、徐々に剛性が低下する現象を1つの式で表現できること、更に  $\delta$  が  $0\text{mm}$  及び  $2\text{mm}$  の時にそれぞれ  $\delta Q/{}_{2mm}Q = f(\delta)$  が 0 及び 1 となることに配慮し、ここでは  $f(\delta)$  に指数関数を用いることを試みる。そこで、 $f(\delta)$  を式(7)より極力簡単な設計式となるように、累乗根に整数を用いてフィッティングさせると、次式のように表現することができる。

$$f(\delta) = \delta Q/{}_{2mm}Q = \sqrt[4]{\delta/2} \quad (8)$$

## 5.2 実験値と計算値の比較

はじめに  $\delta=0.5, 1.0, 1.5\text{mm}$  における実験値と計算値を比較する。図-13 に  $\delta=0.5, 1.0, 1.5\text{mm}$  における実験値と計算値の比較を示す。いずれの  $\delta$  に関しても相関係数は 0.94 以上となり、計算値は高い精度で実験値を推定できている。

続いて、実験値による  $Q-\delta$  関係と提案する力学モデルを比較する。図-14 に力学モデルにおける実験値と計算値の比較を示す。 $\delta \leq 0.5\text{mm}$  の範囲を見ると、一部の試験体において、実験値は緩やかに推移していないものがあるため、計算値と若干乖離していることが観察されるが、この現象が生じた理由については、今後の課題としたい。しかしながら、 $\delta > 0.5\text{mm}$  の範囲では、提案する力学モデルを用いることで、実験値を概ね再現することができている。

## 6. まとめ

本論文では、劣化等により免震支承を交換するため、免震基礎フーチングと補強キャピタルの接合部を想定し、そこに鋼製ディスク型シャキーを適用することを模擬した接合部のせん断実験を実施した。更に、鋼製ディスク型シャキーの高いせん断剛性とせん断耐力を最大限に発揮させるため、高軸力時の接合面の力学挙動を実験結果から把握すると共に、力学モデルを提案した。なお、本論文で提案する力学モデルの適用範囲は、既存部コンクリート強度  $36.6 \leq \sigma_c \leq 60.2\text{N/mm}^2$ 、接合面の平均圧縮応力度  $0.5 \leq \sigma_0 \leq 4.0\text{N/mm}^2$ 、せん断変位  $0 \leq \delta \leq 2\text{mm}$  である。下記に本論文で得られた知見を示す。

- 1)  $\sigma_B$ ,  $\sigma_0$  が大きい程、せん断力  $Q$  は大きい傾向を示した。
- 2) 本論文の範囲における鋼製ディスク型シャキーのせん断耐力  $q'_{disk}$  は、既往の設計式によるせん断耐力  $q_{disk}$  に

$\sqrt{E_C \cdot \sigma_B}$  による補正係数  $K_{con}$  と、 $\sigma_0$  による補正係数  $K_{comp}$  を乗じて表すことができる。その結果、 $K_{con}$  は 1 であり、 $K_{comp}$  は  $\sigma_0$  の対数による関数となる。

- 3) 力学モデルは、せん断変位  $\delta$  による  $q'_{disk}$  に対する割合を表す関数  $f(\delta)$  を用いることで表現できる。また、 $f(\delta)$  は、 $\delta=0.5\text{mm}$  までの剛性は高く、それ以降は剛性が低下する傾向を反映でき、更に  $\delta$  が  $0\text{mm}$  及び  $2\text{mm}$  時にそれぞれ 0 及び 1 となる指数関数で与えられる。
- 4)  $\delta \leq 0.5\text{mm}$  の範囲を見ると、一部の試験体において、実験値は緩やかに推移していないものがあるため、計算値と若干乖離していることが観察された。しかしながら、 $\delta > 0.5\text{mm}$  の範囲では、概ね提案する力学モデルを用いることで、実験値を再現することができた。以上より、本論文で提案する力学モデルは、高い精度で実験値を推定できることを示した。実務の設計にこの力学モデルを適用する場合は、これらの力学挙動を把握し、十分な安全率を有して設計されることを望む。

## 参考文献

- 1) 柳済晟, 石塚広一, 山根義康, 高嶋政人, 曾田裕昌: 免震装置交換に伴うジャッキアップ時の安全性評価について その 1 背景および解析条件, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.259-260, 2017-7
- 2) 高瀬裕也, 阿部隆英, 板谷秀彦, 佐藤貴志, 久保田雅治, 池田隆明: ディスク型シャキーを用いた内付け補強架構の接合部破壊時の保有水平耐力の評価手法-鋼製ディスクとアンカーボルトを併用した耐震補強用シャキーに関する研究-, 日本建築学会構造系論文集, 第 79 巻, 第 698 号, pp.507-515, 2014.4
- 3) 阿部隆英, 樋渡健, 高瀬裕也, 香取慶一: コンクリート構造物の耐震補強の接合部に適用する円柱状シャキーの力学モデルの構築, コンクリート工学論文集, 第 30 巻, pp.11-20, 2019.7
- 4) 吉水賢市, 丸山俊夫, 阿部隆英: 高いせん断耐力と剛性を持つ接合要素を用いた耐震補強事例-旧長岡市役所本庁舎の耐震補強-, コンクリート工学, Vol.52, No.11, pp.1013-1017, 2014.11
- 5) 日本建築防災協会: 既存鉄筋コンクリート造建築物の「外側耐震改修マニュアル」, 2002年(初版3版)
- 6) 高瀬裕也, 阿部隆英, 佐藤貴志, 尾中敦義, 池田隆明: ディスク型シャキーの増設スラブの接合部への適用性と耐力評価-鋼製ディスクとアンカーボルトを併用した耐震補強用シャキーに関する研究-, 日本建築学会構造系論文集, 第 80 巻, 第 708 号, pp.297-307, 2015.2