

II-3 実験結果の総括

要 旨

ここでは、これまで行われてきた鋼製橋脚に関する実験を総括し、幅厚比や、細長比といった主要パラメータが耐荷力 (H_{max}) と変形能 (δ_m, δ_u) 等に及ぼす影響を統計的に調べ、それらを主要パラメータにより表現した推定式を提示し、実験値との比較も行い記述するものである。

また、振動台における実験、橋脚定着部の耐荷力および変形能、エネルギー吸収型のスリットを設けた新しいタイプの耐震連結装置の変形能についての実験を行っているので、その結果についても記述する。

3.1 はじめに

土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会 耐震設計WGでは、鋼製橋脚の耐震性能を検討する場合の主要なパラメータである幅厚比(径厚比)、細長比、補剛材剛比、軸力比、載荷履歴の違いなどの耐震性能への影響を調べるために、鋼製橋脚をモデル化した比較的薄肉の補剛または無補剛箱形断面を有する片持柱供試体を製作し、準静的およびハイブリッド実験(仮動的実験)をはじめ種々の実験を行ってきた。また、この種の研究はここ数年、特に兵庫県南部地震以後、多くの研究機関においても精力的に行われており、鋼製橋脚の耐震設計に関する有用な知見が数多く得られてきている^{1)~28)}。

本章ではこれらの実験を総括し、鋼製橋脚の幅厚比パラメータや、細長比パラメータといった主要パラメータが耐荷力 (H_{max}) および変形能 (δ_m, δ_u) 等におよぼす影響を統計的に調べ、それらを主要パラメータにより表現した推定式を提示し、実験値との比較を記述するものである。

また、鋼製橋脚の実地震動入力による振動台実験、橋脚定着部のアンカー形式の違いによる耐荷力および変形能への影響、および、エネルギー吸収型のスリットを設けた新しいタイプの耐震連結装置の変形能についての実験を行っているので、その結果についても記述する。

3.2 鋼製橋脚

3.2.1 荷重と変位の定義

ここでは図-3.1に示すように荷重と変位量を定義する。 H_{y0} は軸力が作用せず水平力のみが作用した場合の初期降伏荷重で、 δ_{y0} は曲げ変形のみを考慮した1次理論による H_{y0} に対応する水平変位で、それぞれ次式で定義される。

$$H_{y0} = \frac{M_y}{h} \quad (3.1)$$

$$\delta_{y0} = \frac{H_{y0}h^3}{3EI} \quad (3.2)$$

ここで、 M_y ：降伏モーメント、 h ：供試体長さ、 E ：鋼材のヤング率、 I ：断面2次モーメントである。 H_y はフランジ板の局部座屈を考慮したはり一柱の極限強度照査式から求められる荷重¹⁰⁾、 H_{max} は水平荷重の最大値、 H_{95} は最大水平荷重 H_{max} の95%値である。 δ_y は H_y に対応する変位で、せん断の影響も考慮し、次式により算出する。

$$\delta_y = \left(1 + \frac{3EI}{GA_w h^2}\right) \frac{H_y \delta_{y0}}{H_{y0}} \quad (3.3)$$

ここで、 G ：せん断弾性係数、 A_w ：ウェブの断面積である。 δ_m 、 δ_{95} はそれぞれ H_{max} 、 H_{95} に対応する変位である。また、 δ_u は最高荷重発生以後、荷重が H_y まで降下した時の変位である。

ここでは強度の評価点として、最高荷重 H_{max} を、変形能の評価点として、 δ_m 、 δ_{95} を選定し、各評価点の値を主要なパラメータの関数によって表現する推定式を作成することを試みる。また、次節以降にはこれらの実験供試体の緒元および実験により得られた、荷重と変形量の値を示してある。

なお、各種パラメータの強度と変形能への影響については、第I編のI-4にて詳細に述べられているので、そちらを参照されたい。

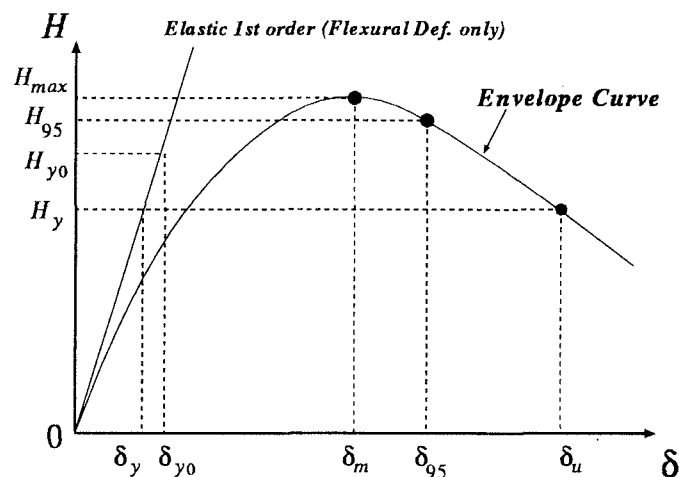


図-3.1 Definition of Loads and Displacements

3.2.2 準静的実験結果

鋼製橋脚

鋼製橋脚に関する準静的実験は多くの研究機関行われてきており、表-3.1～3.4には鋼製橋脚の実験供試体の諸元を示す、表中の各変数の意味するところは以下のようなものである。

b : フランジの幅, t : フランジの板厚, b_s : 縦補剛材の幅, t_s : 縦補剛材の板厚, l_d : ダイアフラム間隔, ν : 鋼材のポアソン比, σ_y : 鋼材の降伏応力, γ : 補剛材剛比, γ^* : 線形座屈理論から求められる最適剛比, P_y : 全断面降伏応力比, P/P_y : 軸圧縮力, R_f : フランジの幅厚比パラメータ, $\bar{\lambda}$: 柱の細長比パラメータ, $\bar{\lambda}_s$: ダイアフラムで挟まれた補剛材の細長比パラメータである。

また、表および図中の実験実施機関の名称のうち最初の3文字または4文字のアルファベットは研究機関名を表し、その後の数字は実験年（西暦の下2桁）を示している。また、各供試体名は各機関において使用された名称である。以下に実験実施機関（代表者）と略号の対応一覧を示す。

- KYTI : 京都大学（家村）
- KYTS : 京都大学（杉浦）
- OCU : 大阪市立大学（北田）
- NGY : 名古屋大学（宇佐美）
- PWRI : 建設省土木研究所
- MEPC : 首都高速道路公団
- HEPC : 阪神高速道路公団
- NSC : 新日本製鐵（株）

ただし、表中に PMH とある場合には、建設省土木研究所、首都高速道路公団、阪神高速道路公団の3者により実験が行われたことを意味する。また、MP とは首都高速道路公団、建設省土木研究所により行われた実験を意味する。

実験結果を表-3.5～3.7 および図-3.2,3.3 に示す。図はそれぞれ、(a)には、縦軸に強度 H_{max} を H_y で無次元化したものと、横軸には R_f と $\bar{\lambda}$ の積をとってある。(b)には、最大荷重点での変位 δ_m を δ_y で無次元化したものを縦軸に、横軸には R_f と $\bar{\lambda}$ の累乗の積をとってある。(c)には、 $H_{95} = 0.95H_{max}$ となる点に対応する変位 δ_{95} を同様に δ_y で無次元化したものを縦軸にとり、横軸には軸力の影響を考慮して、 R_f と $\bar{\lambda}$ の累乗および軸力比 P/P_y の関数の積の形で整理したものである。これらの横軸の累乗の値はできるだけ相関性を良く示すように、試行錯誤的に決定したものである。また、図中の曲線はそれぞれの推定式であり3.3節で詳しく述べる。

実験結果の表には、 H_{y0} , δ_{y0} , δ_y , H_y/H_{y0} , H_{max}/H_y , δ_m/δ_y , δ_{95}/δ_y , δ_u/δ_y の値が示してある。表中で空欄となっているところは、試験装置の能力以上の値となった等により未計測となっているものである。

コンクリート部分充填鋼製橋脚

鋼製橋脚の基部にコンクリートを部分的に充填する事により、柱基部での局部座屈の発生を防ぎ、また、局部座屈の進行を抑制することができる。つまり、強度をあまり上昇させずに変形能を向上させることができる。そのため、多くの研究機関において種々のコンクリート充填形態について、鋼製橋脚と同様な準静的繰り返し載荷実験が行われた。それらの供試体の諸元を表- 3.8, 3.9 に示す。また、実験結果を表- 3.10, 3.11 および図-3.4,3.5 に示す。表中の各パラメータの値の意味するところは鋼製橋脚の場合と同様である。ただし、 l_c : コンクリート充填高さ、 σ_{ck} : コンクリートの圧縮強度である。また、 $\bar{\lambda}_s$ はコンクリート充填部直上のダイヤフラムで囲まれた補剛材の細長比パラメータである。

図中の実験結果はコンクリートを充填しない鋼製橋脚の場合と同様に、縦軸に、強度については H_{max} を、変形能については δ_m および δ_{95} をそれぞれ H_y および δ_y で無次元化した値で示す。横軸は R_f と $\bar{\lambda}$ の累乗の積で示してある。これらの図と鋼製橋脚の実験結果図-3.2,3.3を比較すると明らかのように、コンクリートを充填することにより、強度の上昇よりも、特に変形能の上昇が顕著であることがわかる。ただし、充填するコンクリートの強度が一定でないために、鋼製橋脚の場合のように、強度および変形能に良い相関性が現れなかったため、推定式は作成していない。

なお、表中で空欄となっているところは、コンクリートを充填しない場合の実験結果と同様に、試験装置の能力以上の値となった等により未計測となっているものである。

3.2.3 ハイブリッド実験結果

ハイブリッド実験とは、準静的実験装置と同じ実験装置を使用し、実地震動を橋脚モデルに入力し、各ステップでの復元力を計算機に取り込み、時事刻々と応答計算を行う実験のことある。また、振動台実験のような大がかりな装置を必要とせず、比較的容易に橋脚の地震応答が得られることから、本WGでも積極的に実験を行ってきた。

ここでは、建設省土木研究所提案のレベル2地震動と1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震において観測された地震動を入力したハイブリッド実験結果についてまとめる。

鋼製橋脚

コンクリートを充填しない鋼製橋脚のハイブリッド実験について、供試体の緒元を表- 3.12, 3.13 に示す。表中の各パラメータの意味は準静的実験の場合と同様である。また、実験結果を表- 3.14, 3.15 および図-3.6,3.7 に示す。なお、ハイブリッド地震応答実験の結果については、最大応答変位 δ_{max} および残留変位 δ_R に特に着目して整理した。

各図中の (a) には、縦軸に最大応答変位を δ_y で無次元化し、横軸に R_f と $\bar{\lambda}$ の累乗の積をとり整理した。(b) には、縦軸に残留変位を δ_y で無次元化し、横軸に (a) と同様に R_f と $\bar{\lambda}$ の累乗の積をとり整理した。これらの図から、 R_f と $\bar{\lambda}$ の累乗の積と変位の間には、補剛断面で多少の相関関係が見られるが、無補剛断面に関してはあまり相関関係が見られない(変位を R_f と $\bar{\lambda}$ の関数で表現しにくい)。一方、(c) のように縦軸に δ_{max} を横軸に δ_R をとって整理した場合には、両変位の間にある程度の相関関係が見られる。

コンクリート部分充填鋼製橋脚

コンクリートを柱基部に部分的に充填した鋼製橋脚のハイブリッド実験について、供試体の緒元を表-3.16~3.18に示す。表中の各パラメータの意味は準静的実験と同様である。実験結果を表-3.19、3.20および図-3.8,3.9に示す。

コンクリートを充填しない場合と同様にハイブリッド地震応答実験に関しては、最大応答変位 δ_{max} および残留変位 δ_R に着目し結果を整理する。準静的実験の場合と同じように、それぞれ、 δ_y で無次元化して各表および図に示してある。入力した地震動等が異なるため充填コンクリートの有無による強度および変形能の差を直接比較することは次節に譲るが、これらの図および表より、コンクリートを充填することにより、補剛断面において残留変位がコンクリートを充填しない場合と比較すると、全体的に小さな値となっている。また、準静的実験結果でも述べたように、充填コンクリートの強度が一定でないので、ハイブリッド実験においても、コンクリートを充填した場合に相関関係が現れにくくなっている。コンクリートを充填しない場合に多少相関性が見られた補剛断面においても、相関性が見られなくなっている。ただし、(c)のように縦軸に δ_{max} を横軸に δ_R をとった場合にはコンクリートを充填しない場合と同様にある程度相関性が見られる。

3.2.4 コンクリート充填の有無の比較

準静的実験における比較

前出の鋼製橋脚とコンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚の実験結果から幅厚比パラメータ、細長比パラメータ、軸圧縮力比等のパラメータが同一のものでコンクリートの充填効果を比較したものの例を図-3.10に示す。

この図から無補剛断面で R_f が0.7で $\bar{\lambda}$ が0.25のときコンクリート充填の無い場合と比較すると、最大荷重 H_{max} はコンクリートを30%充填することにより37%、50%充填することにより40%上昇している。対応する変位 δ_m は、それぞれ1.76倍と2.54倍となっている。また、変位 δ_{95} は、それぞれ2.26倍と3.73倍となっている。鋼柱だけではダクティリティーのない場合には飛躍的に変形能を向上させることができる。

一方、補剛断面で R_f が0.45で $\bar{\lambda}$ が0.25のときコンクリートを充填の無い場合と比較すると、最大荷重 H_{max} はコンクリートを30%充填することにより38%、50%充填することにより52%上昇している。対応する変位 δ_m は、それぞれ1.67倍と2.77倍となっている。また、変位 δ_{95} は、それぞれ1.19倍と2.05倍となっている。

以上の結果は充填コンクリートの上部にダイアフラムを設けた場合の値であり、図-3.10(a)にはダイアフラムのない場合の結果も示してあるが(供試体名の末尾にDと表示のあるもの)、ダイアフラムを設けなくてもある程度の強度と変形能の上昇は見込める。また、図-3.10には30%と50%の充填の例を示したが、コンクリートを最適に充填することにより、さらに変形性能を向上させることができる。この、コンクリートの最適充填高さとは、コンクリートを充填した基部のコンクリートとコンクリート充填部直上の補剛板の圧縮ひずみがそれぞれ破壊に達したとみなされるひずみ量に同時に達するよう解析的に求めた高さであり、詳細は文献(32)および第I編を参照されたい。

ハイブリッド実験における比較

ハイブリッド実験においても橋脚基部にコンクリートを部分的に充填することにより、準静的載荷実験同様に強度をあまり上昇させずに変形能を向上させることができる。その一例を図-3.11に示す。

これらの図から、JMAを入力した実験結果において、最大応答変位はコンクリートを充填したSC45-35-20Hの方が4%程度大きくなっている。これは、SC45-35-20Hの方がS45-35Hよりも固有周期が短く、コンクリートを充填したことによる剛性の上昇以上に、JMAが固有周期の短い供試体に対して厳しい応答を生じさせる地震波であることが影響していると考えられる。JR-Takatoriを入力した場合は、S45-35Hの方が最大応答変位は15%程度大きくなっている。

また最大荷重に関しては、JMA、JR-Takatoriを入力した場合ともに、S45-35Hにおいては耐力の低下が見られるが、SC45-35-20Hでは最高荷重にまで達しておらず、耐力を維持していることが確認できる。これは、コンクリートの充填により、柱基部での局部座屈による急激な損傷の進展が抑えられたものと考えられる。

残留変位に関しては、SC45-35-20Hの方が、JMAを入力した実験において41%、JR-Takatoriを入力した実験において54%小さくなっており、コンクリート充填の効果が出たものと考えられる。応答変位波形全体においても、SC45-35-20Hの方が応答は小さく、振動の振幅もS45-35Hと比べて小さく抑えられている。

3.3 強度および変形能の推定式

3.3.1 推定式と実験値の比較

図-3.2,3.3 は H_{max} , δ_m および δ_{95} を縦軸に, R_f と $\bar{\lambda}$ と P/P_y の関数の累乗の積を横軸にとって実験値を整理したものである. H_{max} に対しては $R_f \cdot \bar{\lambda}$, δ_m に対しては $R_f \cdot \bar{\lambda}^m$, δ_{95} に対しては $(1 + P/P_y)^\alpha R_f \cdot \bar{\lambda}^m$ で, 横軸は, 上記の形式で m および α の種々の値に対し実験値をプロットし, その中で実験値のばらつきが最も小さくなる m および α の値を模索し上記の形式および図中に示したような $m=0.5$ および $\alpha=1.0$ の値を採用した. 変位量をプロットするときの横軸として $m < 1.0$ が採用されたのは, 変位量に対する影響は $\bar{\lambda}$ よりも R_f の方が大きいという事実が反映されたためである⁴⁾. また, H_{max} , δ_m に及ぼす軸力比 P/P_y の影響はあまり大きくないので, 実験値はその違いを無視してプロットしてある. δ_{95} に対しては α の値を適切に決めてやることで軸力の影響を考慮できる.

ところで, これらの実験データをもとに最大荷重点 (H_{max}, δ_m) の荷重と変位および 95% 荷重点 (H_{95}, δ_{95}) の変位の推定式を作成することを試みるが, 安全側の評価をするような推定式を作成することを考慮すると, 平均値曲線よりむしろ下界値曲線を採用する方が良いと思われる. そこで, 図-3.2,3.3 に示す曲線を表すような推定式を式(3.4)~式(3.11)のように提案する. これらの量に影響を及ぼすパラメータの数は多くあるが, ここでは推定式を簡潔な表現にすることを目的としているため, 文献 29), 30) に従い影響の少ないパラメータは思い切って使用しないことにし, 影響の大きな幅厚比パラメータ R_f , 細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ および軸力比 P/P_y の 3 つのパラメータのみで表現することとした. また, 推定式を作成するに当たり, 特異なデータを取り除いて非線形最小自乗近似を行った³³⁾.

式(3.4)~式(3.6) および式(3.8)~式(3.10) は非線形最小自乗近似により得られた平均値曲線を表し, 括弧中の S はそれぞれに対応する条件付標準偏差を表している³³⁾. また, 図-3.2,3.3 に示す曲線のうち実線は平均値曲線 (M) を, 破線は平均値曲線から標準偏差 (S) だけ下方に平行移動した曲線である. なお, この破線は正規分布をすると仮定した場合に超過確率が 16% となる値である.

鋼製橋脚に対する推定式

無補剛断面

$$\frac{H_{max}}{H_y} = 0.0782(R_f \cdot \bar{\lambda})^{-1.0} + 1.03 \quad (S = 0.175) \quad (3.4)$$

$$\frac{\delta_m}{\delta_y} = 0.0262(R_f \sqrt{\bar{\lambda}})^{-3.5} + 2.14 \quad (S = 0.850) \quad (3.5)$$

$$\frac{\delta_{95}}{\delta_y} = 0.0670 \left\{ (1 + P/P_y) R_f \sqrt{\bar{\lambda}} \right\}^{-3.5} + 2.60 \quad (S = 1.09) \quad (3.6)$$

式(3.4)~(3.6)の適用範囲は

$$0.3 \leq R_f \leq 0.9, \quad 0.25 \leq \bar{\lambda} \leq 0.5, \quad 0.0 \leq P/P_y \leq 0.2 \quad (3.7)$$

補剛断面

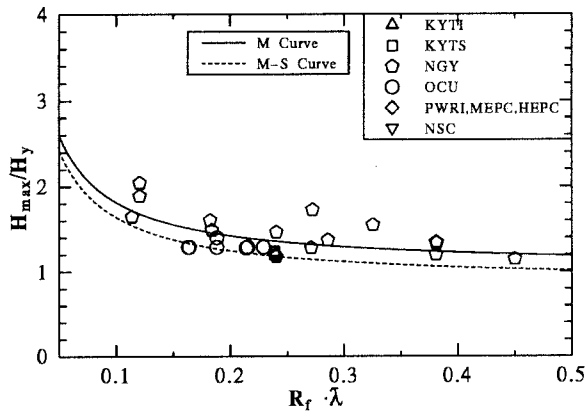
$$\frac{H_{max}}{H_y} = 0.101(\mathbf{R}_f \cdot \bar{\lambda})^{-1.0} + 0.880 \quad (S = 0.242) \quad (3.8)$$

$$\frac{\delta_m}{\delta_y} = 0.00759(\mathbf{R}_f \sqrt{\bar{\lambda}})^{-3.5} + 2.59 \quad (S = 1.32) \quad (3.9)$$

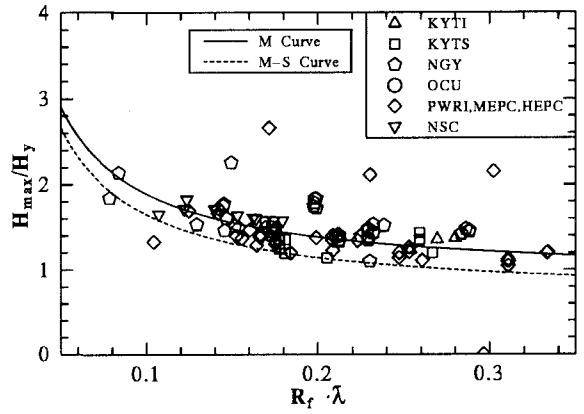
$$\frac{\delta_{95}}{\delta_y} = 0.0147 \left\{ (1 + P/P_y) \mathbf{R}_f \sqrt{\bar{\lambda}} \right\}^{-3.5} + 4.20 \quad (S = 1.40) \quad (3.10)$$

式 (3.8)~(3.10) の適用範囲は

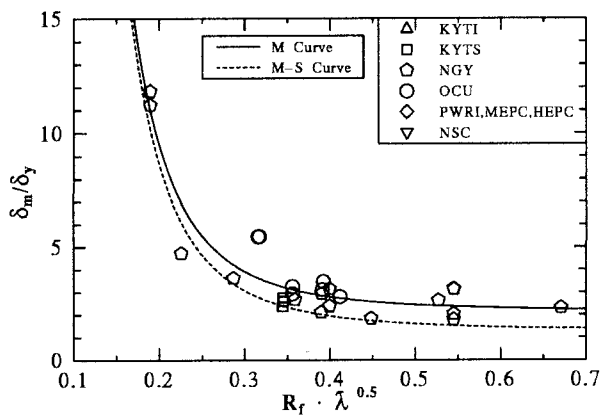
$$0.3 \leq \mathbf{R}_f \leq 0.7, \quad 0.25 \leq \bar{\lambda} \leq 0.5, \quad 0.0 \leq P/P_y \leq 0.2, \quad \gamma/\gamma^* \geq 3.0 \quad (3.11)$$



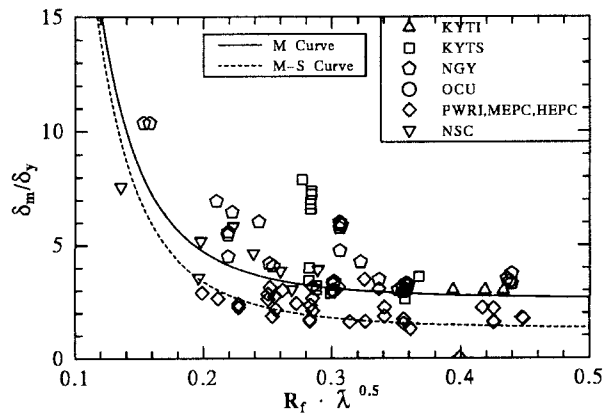
(a)



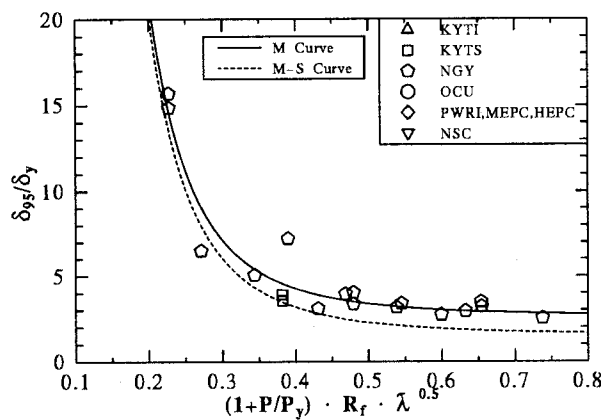
(a)



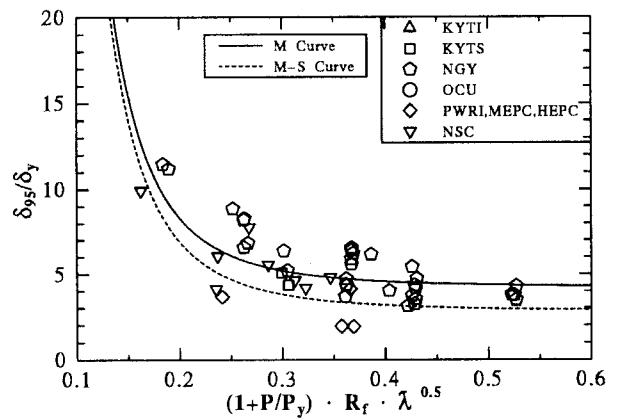
(b)



(b)



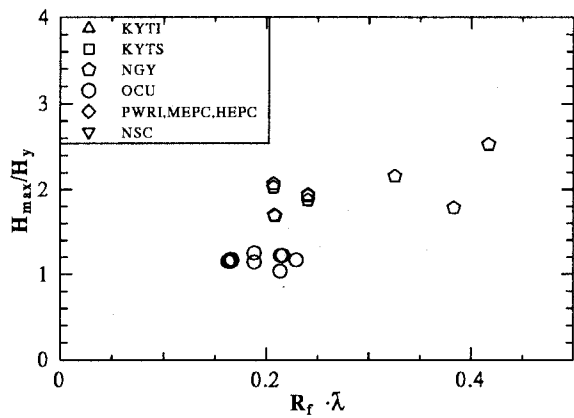
(c)



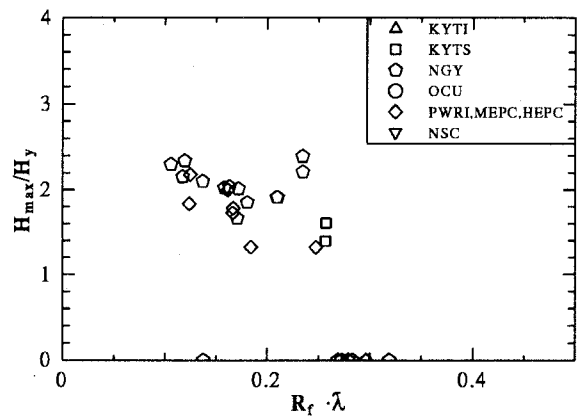
(c)

図 - 3.2 準静の実験結果 - 無補剛断面

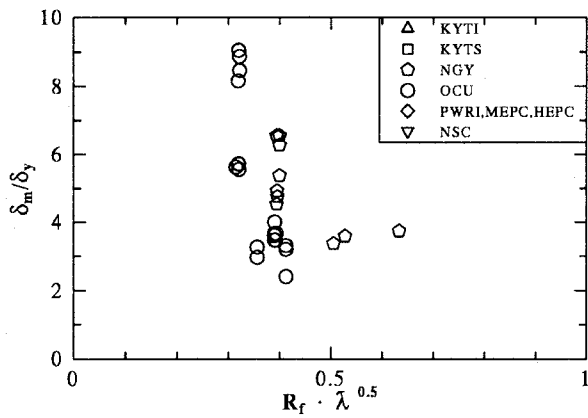
図 - 3.3 準静の実験結果 - 補剛断面



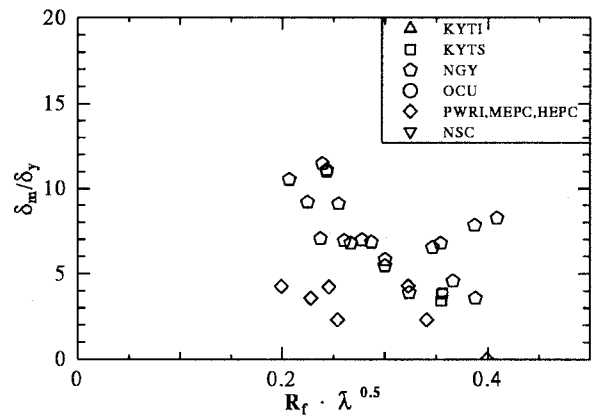
(a)



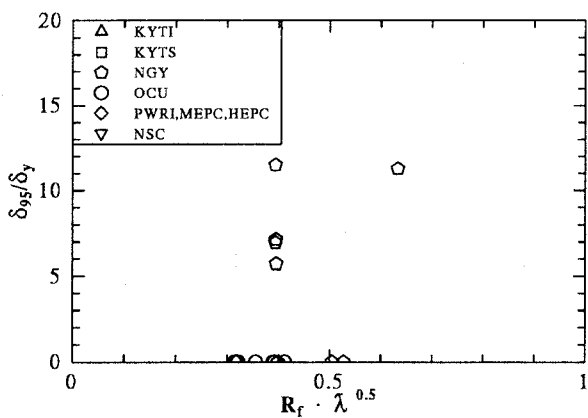
(a)



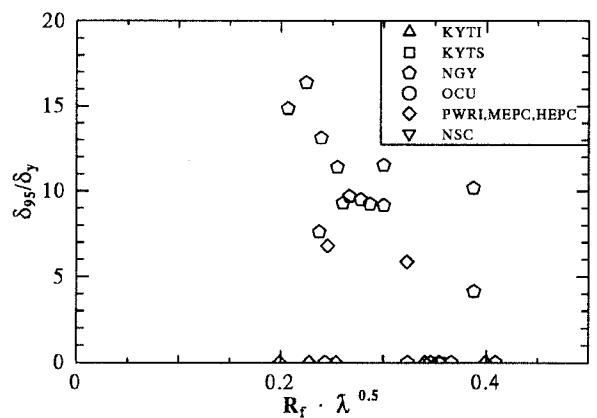
(b)



(b)



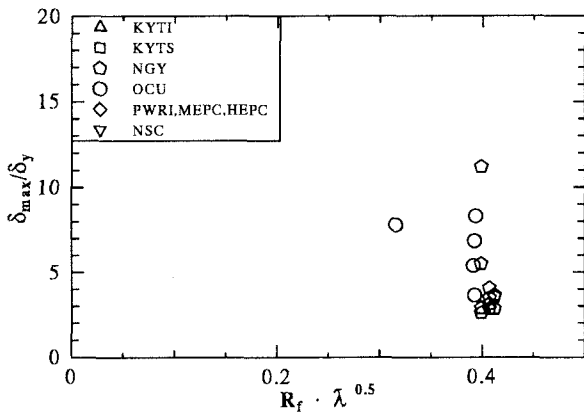
(c)



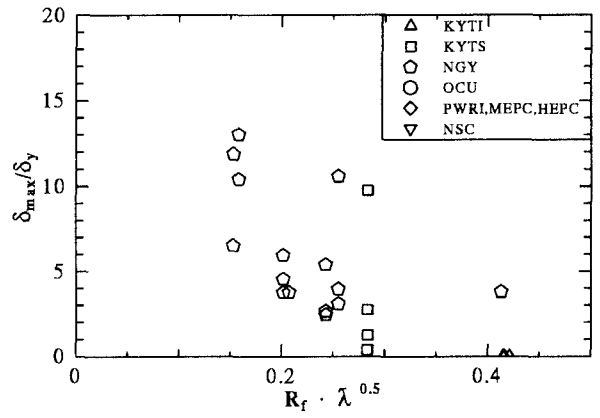
(c)

図 - 3.4 準静的実験結果—
コンクリート充填無補剛断面

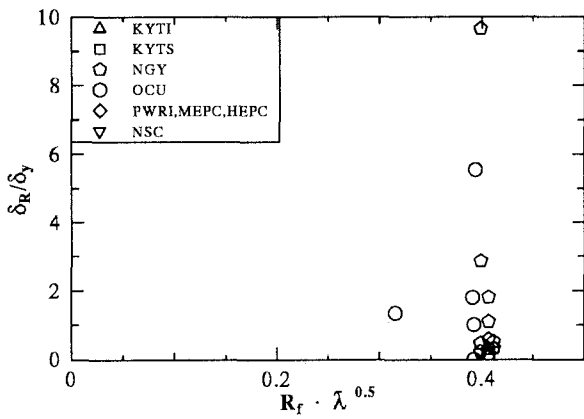
図 - 3.5 準静的実験結果—
コンクリート充填補剛断面



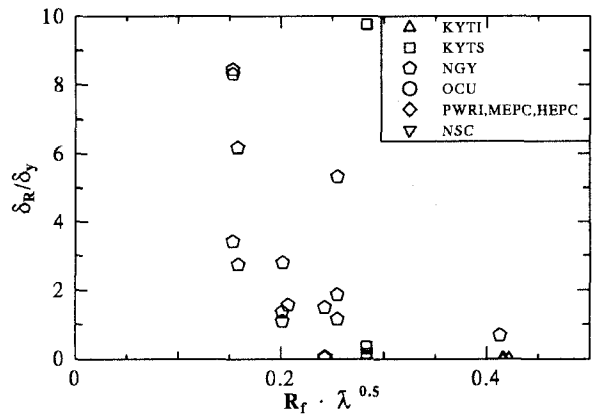
(a)



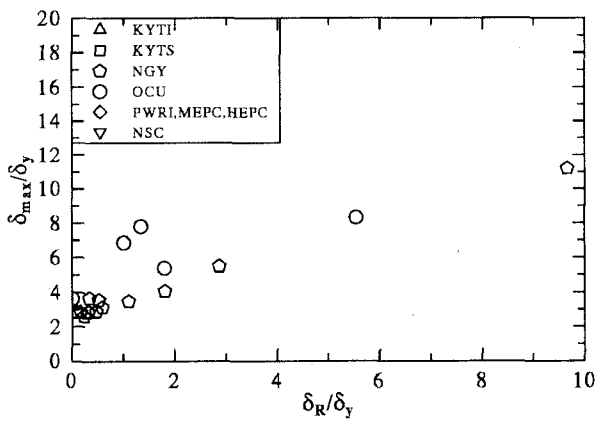
(a)



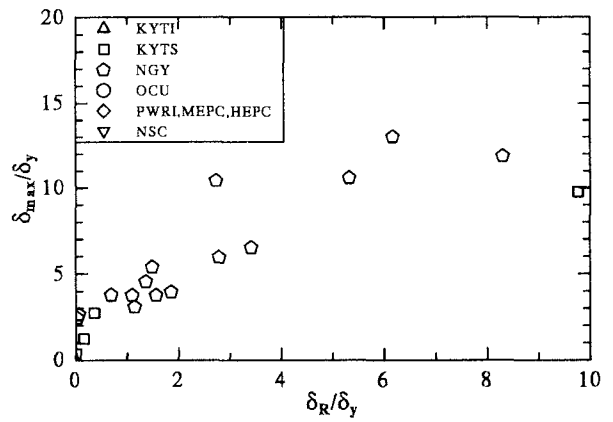
(b)



(b)



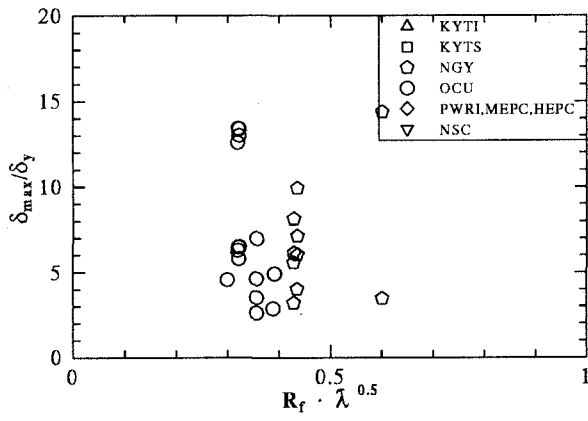
(c)



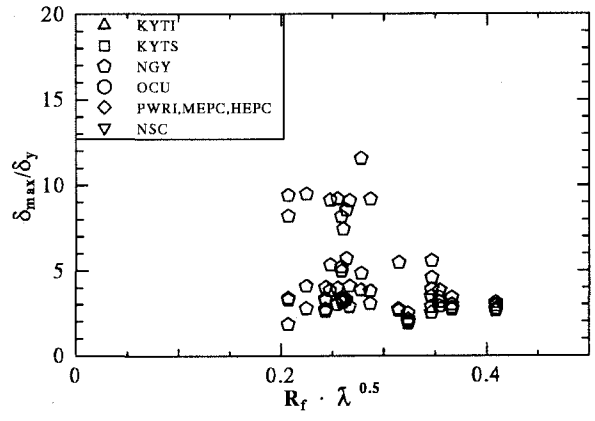
(c)

図 - 3.6 ハイブリッド実験結果 - 無補剛断面

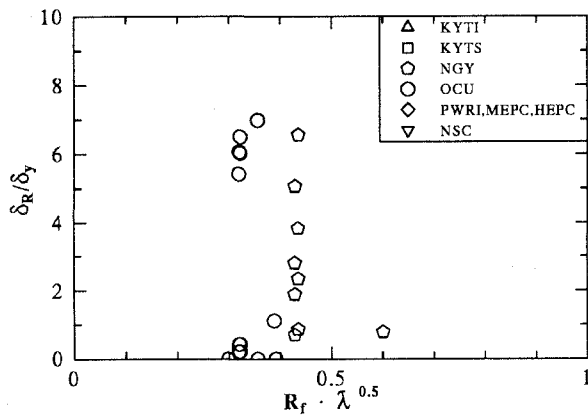
図 - 3.7 ハイブリッド実験結果 - 補剛断面



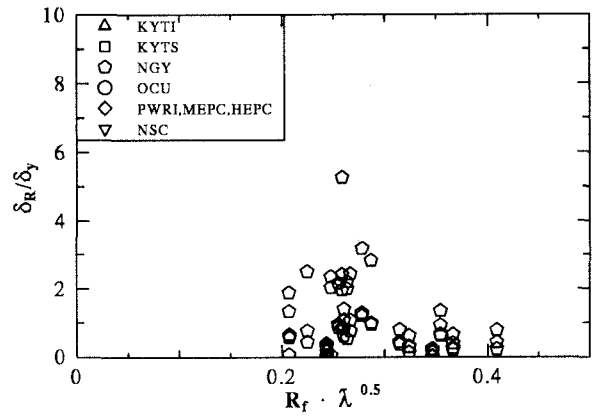
(a)



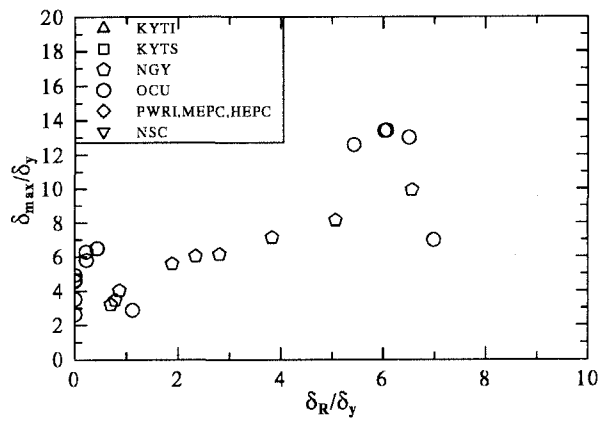
(a)



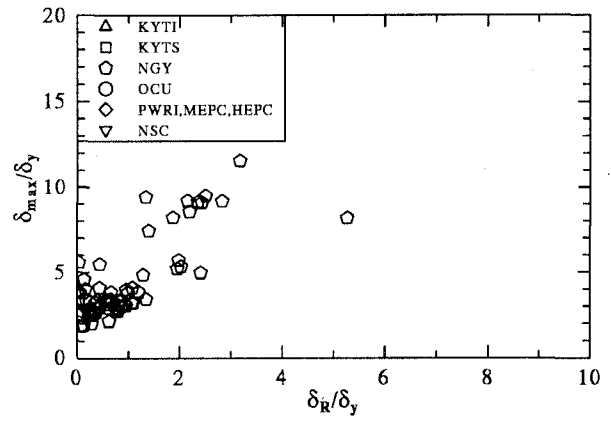
(b)



(b)



(c)



(c)

図 - 3.8 ハイブリッド実験結果 -
コンクリート充填無補剛断面

図 - 3.9 ハイブリッド実験結果 -
コンクリート充填補剛断面

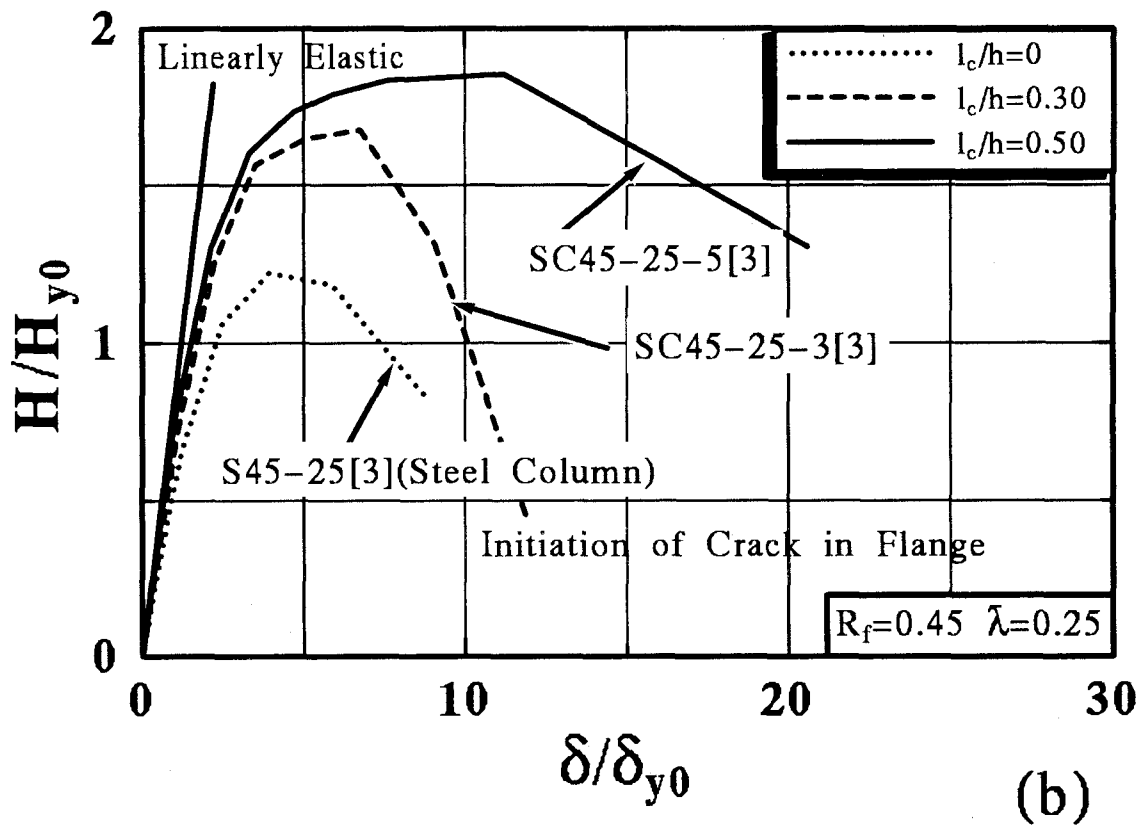
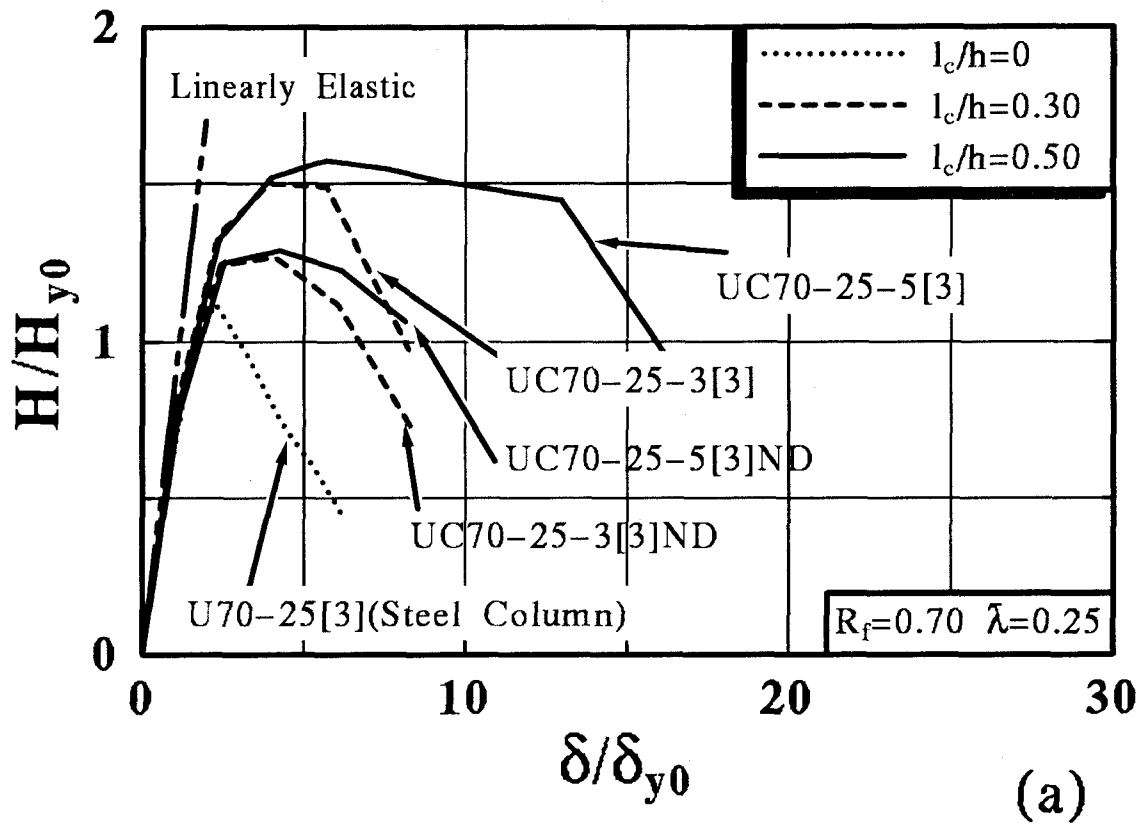
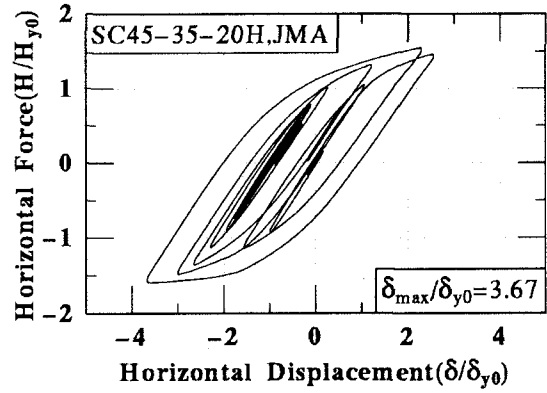
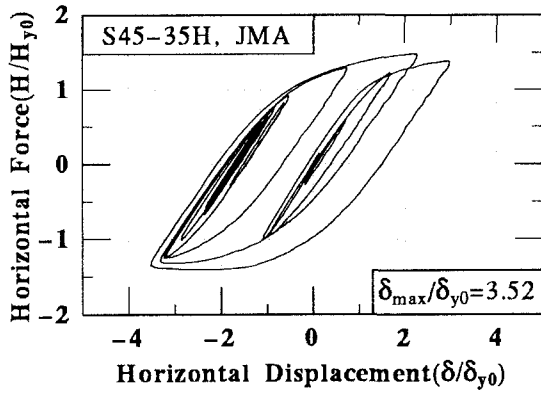
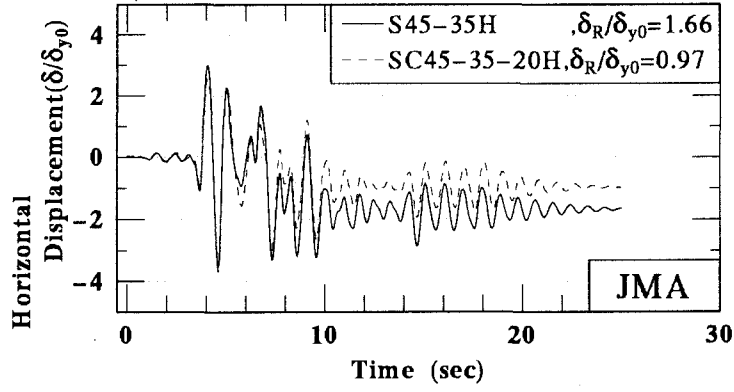
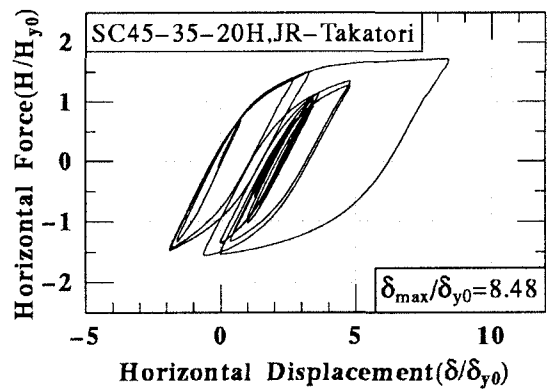
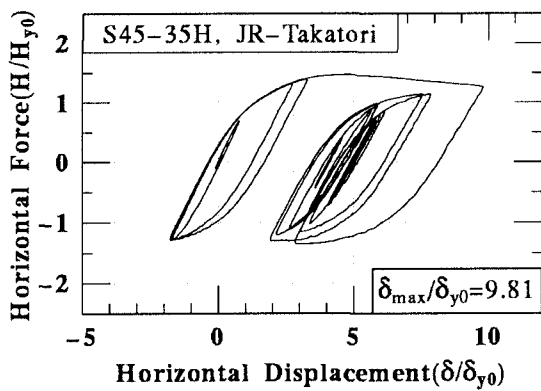
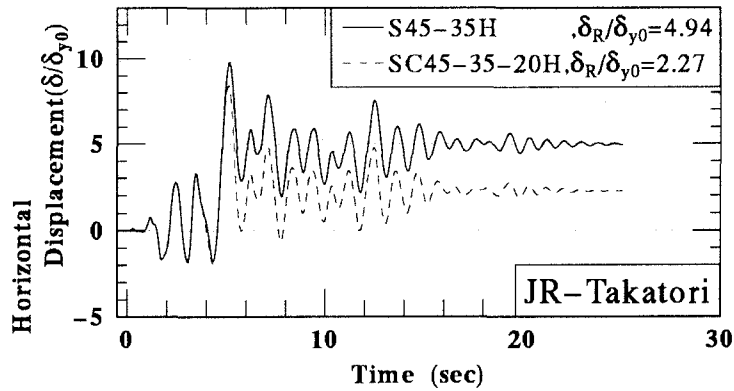


図 - 3.10 鋼柱とコンクリート充填柱の比較



(a) SC45-35H, SC45-35-20H の比較 (JMA 入力時)



(b) SC45-35H, SC45-35-20H の比較 (JR-Takatori 入力時)

図 - 3.11 鋼柱とコンクリート充填柱の比較

表 - 3.1 供試体諸元 (準静的実験 無補剛断面)

Org.	Specimen	h (mm)	b (mm)	t (mm)	l _d (mm)	E ($\frac{kgf}{mm^2}$)	ν	σ_y ($\frac{kgf}{mm^2}$)	P/P _y	R _f	$\bar{\lambda}$	note
KYTS	B-TKP-M1	1698	211	8.64	221	21260	0.266	31.1	0.062	0.498	0.480	
KYTS	B-TKP-M2	1697	211	8.64	221	21260	0.266	31.1	0.107	0.498	0.480	
KYTS	B-TKP-C	1698	211	8.64	221	21260	0.266	31.1	0.107	0.498	0.480	(破壊するまで載荷)
OCU96	S-O-G00	750	139	4.57	-	21676	0.274	31.5	0.145	0.614	0.267	
OCU96	S-O-G17	750	139	4.61	-	21676	0.274	31.5	0.144	0.611	0.267	
OCU93	S-L0	750	140	4.50	-	20900	0.270	42.2	0.112	0.742	0.309	漸増 (地震動をモデル化して載荷)
OCU92	S-1-G3	750	140	4.47	-	20200	0.230	36.6	0.138	0.714	0.301	
OCU92	S-R-G0	750	R柱	4.47	-	20200	0.230	36.6	0.137	0.674	0.299	R Corner Column
OCU91	S-1-01	750	140	4.48	-	21900	0.280	36.6	0.137	0.674	0.279	
OCU91	S-1-02	750	140	4.48	-	21900	0.280	36.6	0.137	0.674	0.279	
OCU91	S-2-0	750	140	4.48	-	21900	0.280	36.6	0.137	0.674	0.279	
NGY89	U5-0C	750	118	4.34	234	21220	0.247	31.6	0	0.560	0.484	
NGY89	U5-2M	752	120	4.34	234	21220	0.247	31.6	0.2	0.570	0.484	Monotonic
NGY89	U5-2C	752	116	4.34	234	21220	0.247	31.6	0.2	0.560	0.486	
NGY89	U7-0C	1050	165	4.34	329	21220	0.247	31.6	0	0.780	0.488	
NGY89	U7-1C	1050	165	4.34	328	21220	0.247	31.6	0.1	0.780	0.488	
NGY89	U7-2M	1050	165	4.34	328	21220	0.247	31.6	0.2	0.780	0.489	Monotonic
NGY89	U7-2C	1051	165	4.34	328	21220	0.247	31.6	0.2	0.780	0.488	
NGY89	U7-2CC	1050	166	4.34	328	21220	0.247	31.6	0.2	0.780	0.489	
NGY89	U9-1C	1251	212	4.34	423	21220	0.247	31.6	0.1	1.000	0.450	
NGY90	UU0	762	154	4.51	306	20100	0.269	27.1	0.2	0.664	0.362	3 Cycle
NGY90	UU1	762	153	4.51	306	20100	0.269	27.1	0.2	0.664	0.362	3 Cycle
NGY90	UU6	1035	198	4.51	394	20100	0.269	27.1	0.2	0.854	0.381	3 Cycle
NGY90	UU10	853	172	10.5	312	20100	0.269	27.1	0.2	0.297	0.406	3 Cycle
NGY90	UU11	853	171	10.5	312	20100	0.269	27.1	0.2	0.297	0.406	3 Cycle
NGY92	U45-25[0]	486	140	5.91	278	22074	0.270	28.8	0.2	0.454	0.252	Monotonic
NGY92	U45-25[3]	485	138	5.91	278	22074	0.270	28.8	0.2	0.448	0.254	3 Cycle
NGY92	U45-40[0]	779	138	5.91	278	22074	0.270	28.8	0.2	0.448	0.404	Monotonic
NGY92	U45-40[3]	781	139	5.91	278	22074	0.270	28.8	0.2	0.451	0.404	3 Cycle
NGY92	U70-25[0]	787	216	5.91	434	22074	0.270	28.8	0.2	0.701	0.263	Monotonic
NGY92	U70-25[3]	786	216	5.91	434	22074	0.270	28.8	0.2	0.701	0.262	3 Cycle
NGY92	U70-40[0]	1217	217	5.91	434	22074	0.270	28.8	0.2	0.704	0.406	Monotonic
NGY92	U70-40[3]	1217	217	5.91	434	22074	0.270	28.8	0.2	0.704	0.406	3 Cycle

表-3.2 供試体諸元 (準静的実験 補剛断面 その1)

Org.	Specimen	h (mm)	b (mm)	t (mm)	bs (mm)	ts (mm)	ld (mm)	$\bar{\lambda}_s$	E (kgf/mm ²)	ν	σ_y (kgf/mm ²)	γ/γ^*	P/Py	Rf	$\bar{\lambda}$	note
KYTI	A	1750	227	3.13	27.0	4.84	560	0.874	19400	0.330	23.8	1.14	0.162	0.671	0.417	1cycle
KYTI	B	1750	228	3.24	26.9	4.61	60	0.0952	19400	0.330	23.8	34.1	0.158	0.651	0.414	1cycle
KYTI	C	1750	227	3.44	27.1	4.76	130	0.202	19400	0.330	23.8	9.74	0.150	0.612	0.415	1cycle
KYTS	B-SNF3-M	1700	300	3.30	52.0	6.00	380	0.266	20610	0.3	30.3	5.24	0.062	0.463	0.376	
KYTS	B-SNF3-C	1701	300	3.30	52.0	6.00	380	0.266	20610	0.3	30.3	5.16	0.062	0.460	0.376	
KYTS	B-SNF1-M	1699	275	6.00	50.0	6.00	275	0.233	20780	0.3	30.3	5.04	0.062	0.452	0.393	
KYTS	B-SNF1-C	1701	275	6.00	50.0	6.00	275	0.234	20780	0.3	30.3	5.27	0.062	0.459	0.394	
KYTS	B-NEW-M1	1699	269	6.00	50.0	6.00	275	0.232	20780	0.284	30.3	5.04	0.0623	0.452	0.393	(8 δ y 1cycle)
KYTS	B-NEW-C	1701	268	5.90	50.0	6.00	275	0.232	20780	0.284	30.3	5.265	0.0623	0.459	0.394	3cycle
KYTS	B-ALT-M1	1700	306	3.24	52.0	6.00	380	0.266	20610	0.283	30.3	5.235	0.0623	0.463	0.376	
KYTS	B-ALT-M2	1701	307	3.32	52.0	6.00	380	0.266	20610	0.283	30.3	4.934	0.1074	0.452	0.375	
KYTS	B-ALT-C	1701	306	3.26	52.0	6.00	380	0.266	20610	0.283	30.3	5.157	0.0623	0.460	0.376	
KYTS	K1-STD	1675	314	4.59	42.5	4.45	297	0.317	20900	0.277	34.7		0.2	0.492	0.526	3cycle
KYTS	K1-BS	1675	314	4.60	41.8	4.45	297	0.324	20900	0.277	34.7		0.2	0.492	0.526	
KYTS	K1-BW	1676	314	4.47	42.3	4.52	297	0.318	20900	0.277	34.7		0.2	0.506	0.527	
KYTS	K2-S	1595	315	2.37	35.6	6.12	297	0.289	21140	0.279	29.1		0.2	0.436	0.471	
NSC	S6-30Real	1550	310	3.17	22.0	2.21	125	0.279	19910	0.3	42.2	1.37	0.2	0.316	0.386	
NSC	S6-30	1550	310	3.16	28.0	2.79	125	0.201	19910	0.3	42.2	3.01	0.2	0.316	0.391	
NSC	S2-30	1550	310	5.13	27.0	3.16	125	0.297	18706	0.3	41.2	3.02	0.2	0.466	0.385	
NSC	S2-30	1550	310	5.13	27.0	3.16	125	0.297	18706	0.3	41.2	3.02	0.2	0.466	0.385	
NSC	S2-25	1550	260	6.27	35.0	3.30	125	0.199	19489	0.3	41.6	3.03	0.2	0.325	0.471	
NSC	S2-20	1550	210	9.24	53.0	5.00	125	0.104	19742	0.3	40.2	3.06	0.2	0.171	0.627	
NSC	S2-30-H	1550	310	5.00	27.0	3.30	125	0.278	19768	0.3	37.8	3.02	0.2	0.446	0.364	
NSC	S2-30-L	1550	310	5.05	27.0	3.29	125	0.251	18711	0.3	31.6	3.02	0.2	0.408	0.342	
NSC	S2-30-M	1550	310	5.13	27.0	3.16	125	0.297	18706	0.3	41.2	3.02	0.2	0.466	0.385	
NSC	S2-30-Hot	1550	310	4.76	27.0	3.22	125	0.291	14367	0.3	32.7	3.02	0.2	0.413	0.397	
HEPC	H9	6000	794	12.0	76	6	727		21000	0.300	40.7		0.057	0	0.616	パイプ断面
NGY	P10-1C	1052	102	3.30					20100	0.243	36.6		0.10	0.0876	0.395	パイプ断面
NGY	P10-2C	1052	102	3.53					20100	0.243	37.6		0.20	0.0885	0.396	パイプ断面
NGY	P12-1C	1252	117	3.09					20600	0.253	40.9		0.10	0.125	0.430	パイプ断面
NGY	P12-2C	1252	117	3.30					20600	0.253	40.9		0.20	0.117	0.430	パイプ断面
NGY	P17-1C	1752	188	3.73					21000	0.255	36.8		0.10	0.148	0.392	パイプ断面
NGY	P17-2C	1752	188	3.66					21000	0.255	36.8		0.20	0.151	0.373	パイプ断面

表 - 3.3 供試体諸元 (準静的実験 補剛断面 その2)

Org.	Specimen	h (mm)	b (mm)	t (mm)	bs (mm)	ts (mm)	ld (mm)	$\bar{\lambda}_s$	E ($\frac{kgf}{mm^2}$)	ν	σ_y ($\frac{kgf}{mm^2}$)	γ/γ^*	P/Py	Rf	$\bar{\lambda}$	note
MP-87	S1	2400	405	4.50	35.0	3.20	350	0.417	18750	0.3	21.3	0.918	0.110	0.442	0.321	溶接脚長 3.3mm
MP-87	S2	2400	405	4.50	35.0	3.20	350	0.417	18750	0.3	21.3	0.918	0.110	0.442	0.321	溶接脚長 4.5mm
MP-88	S6	2400	405	4.50	35.0	3.20	350	0.498	17460	0.3	28.1	0.918	0.0834	0.459	0.382	S1+1 $\delta \rightarrow 7\delta$ (1回)
MP-88	S7	2400	405	4.50	35.0	3.20	350	0.498	17460	0.3	28.1	0.918	0.0834	0.459	0.382	S1+6 $\delta \rightarrow 1\delta$ (1回)
HP-89	S8	2400	405	4.50	35.0	3.20	350	0.498	18500	0.3	29.8	0.918	0.0787	0.458	0.382	S1+繰り返し回数 3回
HP-89	S9	2400	405	4.50	35.0	3.20	350	0.498	18500	0.3	29.8	0.918	0.0787	0.458	0.382	S1+繰り返し回数 5回
HP-88	S10	2400	405	4.50	40.0	3.20	350	0.391	20040	0.3	28.1	1.329	0.0815	0.428	0.356	S1+繰りプ 40*3.2 必要剛比の 2 倍
HP-88	S11	2400	405	4.50	50.0	3.20	350	0.299	20040	0.3	28.1	2.451	0.0781	0.428	0.359	S1+繰りプ 50*3.2 必要剛比の 4 倍
HP-88	S12	2400	405	4.50	50.0	10.0	350	0.245	20040	0.3	28.1	4.804	0.0539	0.428	0.375	S1+繰りプ 40*10 必要剛比の 9 倍
MP-89	S13	6000	810	10.0	64.0	6.00	300	0.232	19560	0.3	38.5	1.733	0.0669	0.311	0.535	S15+横リブ間隔 300
MP-89	S14	6000	810	10.0	64.0	6.00	680	0.526	19560	0.3	38.5	0.328	0.0669	0.311	0.535	S15+横リブ間隔 680
MP-89	S15	6000	810	10.0	64.0	6.00	390	0.302	19560	0.3	38.5	1.009	0.0669	0.311	0.535	横リブ間隔 300 縦リブ 5 本
MP-89	S18	6000	810	10.0	64.0	6.00	390	0.324	19560	0.3	38.5	1.281	0.0696	0.373	0.534	S15+縦リブ 4 本
MP-89	S19	2400	325	4.50	30.0	3.20	260	0.349	19770	0.3	24.2	0.82	0.0869	0.318	0.392	
PM-90	S23	6000	808	8.00	64.0	6.00	350	0.332	21000	0.3	44.3	4.06	0.0763	0.604	0.552	標準供試体 ($\gamma 1 \cdot \gamma 1^* \text{req}=4$)
PM-90	S24	6000	808	8.00	64.0	10.0	350	0.285	21000	0.3	43.9	5.923	0.0698	0.601	0.555	標準供試体+64*10 ($\gamma 1 \cdot \gamma 1^* \text{req}=6$)
PM-90	S25	6000	808	8.00	64.0	6.00	350	0.313	21400	0.3	41.0	4.06	0.0824	0.575	0.526	標準供試体+外リブ
PMH92	S26	6000	792	8.00	64.0	6.00	350	0.316	20600	0.3	40.5	4.06	0.0833	0.583	0.533	標準供試体+ラウンドコーナー
PMH92	S27	6000	808	8.00	64.0	6.00	350	0.318	20600	0.3	40.5	4.06	0.0833	0.583	0.533	標準供試体で繰り返し回数 1 回
PMH92	S28	6000	808	8.00	59.0	6.00	600	0.603	20600	0.3	40.5	1.325	0.0833	0.583	0.533	$\gamma 1 / \gamma 1^* \text{req}=1$
PMH93	S29	6000	811	11.0	75.0	11.0	350	0.219	21100	0.3	40.4	4.114	0.0719	0.418	0.534	幅圧比を低下 ($\gamma 1 / \gamma 1^* \text{req}=4$)
MP-83	S30	3620	578	7.90	60.0	6.40	515	0.511	20900	0.3	56.5		0.0680	0.500	0.506	中間部で座屈
MP-83	S31	3620	578	7.90	60.0	6.40	515	0.510	20900	0.3	56.5		0.0680	0.500	0.506	中間部で座屈
MP-83	S32	3620	538	7.30	60.0	6.40	515	0.493	20900	0.3	56.5		0.0702	0.500	0.522	中間部で座屈
PMH92	S50	6000	808	8.00	64.0	6.00	585	0.481	20400	0.3	40.7	0.56	0.0921	0.470	0.526	片振り
PMH92	S51	6000	808	8.00	64.0	6.00	585	0.481	20400	0.3	40.7	0.56	0.0921	0.470	0.526	両振り
PMH93	S53	6000	819	10.0	169	19.0	910	0.202	20600	0.3	28.8	5.03	0.0619	0.492	0.468	縦リブ 1 本 (169*19)
PMH95	S55	6000	791	9.00	60.0	6.00	300	0.307	21000	0.3	44.3	2.45	0.0757	0.537	0.552	
PMH95	S56	6000	791	9.00	60.0	6.00	500	0.511	21000	0.3	44.3	1.16	0.0757	0.537	0.552	
MEPC	M1	2423	890	10.0	65.0	5.98	300	0.302	21000	0.3	34.6		0.139	0.633	0.246	静的繰り返し試験
MEPC	M2	2423	890	10.0	75.0	9.11	300	0.225	21000	0.3	36.3		0.132	0.647	0.254	静的繰り返し試験
MEPC	M3	2423	890	8.02	120	12.1	900	0.335	21000	0.3	38.6		0.125	0.625	0.271	静的繰り返し試験
MEPC	M4	2423	890	11.0	90.0	14.0	900	0.407	21000	0.3	33.8		0.142	0.429	0.243	静的繰り返し試験
HEPC	H1	6000	808	10.0	64.0	6.00	585	0.487	20400	0.3	40.7	0.56	0.104	0.350	0.526	Monotonic 裁荷
HEPC	H2	6000	808	10.0	64.0	6.00	585	0.487	20400	0.3	40.7	0.56	0.104	0.350	0.526	3cycle
HEPC	H4	6000	819	19.0	169	19.0	910	0.211	21000	0.3	28.8	5.03	0.07	0.370	0.464	10cycle
HEPC	H5	6000	809	9.00	68.0	6.00	370	0.279	21000	0.3	40.7	3.04	0.094	0.390	0.535	Monotonic
HEPC	H6	6000	809	9.00	68.0	6.00	370	0.279	21000	0.3	40.7	3.04	0.094	0.390	0.535	1cycle
HEPC	H7	6000	809	9.00	68.0	6.00	370	0.279	21000	0.3	40.7	3.04	0.094	0.390	0.535	3cycle
HEPC	H8	6000	809	9.00	68.0	6.00	640	0.483	21000	0.3	40.7	1	0.094	0.390	0.535	1cycle

表 - 3.4 供試体諸元 (準静的実験 補剛断面 その3)

Org.	Specimen	h (mm)	b (mm)	t (mm)	bs (mm)	ts (mm)	ld (mm)	$\bar{\lambda}_s$	E ($\frac{kgf}{mm^2}$)	ν	σ_y ($\frac{kgf}{mm^2}$)	γ/γ^*	P/Py	Rf	$\bar{\lambda}$	note
NGY89	S3-0C(1)	1053	211	4.34	25.0	4.25	210	0.339	21220	0.247	31.6	0.95	0.2	0.330	0.441	3cycle
NGY89	S3-2C(1)	1053	212	4.34	25.0	4.25	210	0.339	21220	0.247	31.6	0.95	0.2	0.330	0.440	3cycle
NGY89	S3-2C(3)	1053	210	4.34	38.0	4.25	209	0.210	21220	0.247	31.6	2.92	0.2	0.330	0.439	3cycle
NGY89	S3-4C(3)	1051	211	4.34	38.0	4.25	211	0.212	21220	0.247	31.6	2.92	0.2	0.330	0.453	3cycle
NGY89	S5-0C(1)	1651	352	4.34	32.0	4.25	349	0.524	21220	0.247	31.6	1.28	0.2	0.560	0.411	3cycle
NGY89	S5-1C(1)	1651	351	4.34	32.0	4.25	351	0.526	21220	0.247	31.6	1.28	0.2	0.560	0.409	3cycle
NGY89	S5-2C(1)	1650	352	4.34	32.0	4.25	352	0.528	21220	0.247	31.6	1.28	0.2	0.560	0.409	3cycle
NGY89	S5-2CC(1)	1651	351	4.34	32.0	4.25	351	0.524	21220	0.247	31.6	1.28	0.2	0.550	0.409	3cycle
NGY89	S5-1C(3)	1650	351	4.34	44.0	4.25	351	0.358	21220	0.247	31.6	3.07	0.2	0.550	0.417	3cycle
NGY89	S5-2C(3)	1650	351	4.34	44.0	4.25	350	0.357	21220	0.247	31.6	3.07	0.2	0.550	0.417	3cycle
NGY89	S5-1C(5)	1650	351	4.34	54.0	4.25	351	0.281	21220	0.247	31.6	5.32	0.2	0.550	0.422	3cycle
NGY89	S5-2C(5)	1650	351	4.34	54.0	4.25	351	0.281	21220	0.247	31.6	5.32	0.2	0.550	0.422	3cycle
NGY89	S6-1C(1)	2051	422	4.34	32.0	4.25	423	0.701	21220	0.247	31.6	1.11	0.2	0.670	0.423	3cycle
NGY89	S6-2C(1)	2050	422	4.34	32.0	4.25	422	0.699	21220	0.247	31.6	1.11	0.2	0.670	0.430	3cycle
NGY89	S6-1C(3)	2052	422	4.34	50.0	4.25	424	0.407	21220	0.247	31.6	3.81	0.2	0.670	0.430	3cycle
NGY89	S6-2C(5)	2050	422	4.34	57.0	4.25	423	0.347	21220	0.247	31.6	5.43	0.2	0.670	0.427	3cycle
NGY90	SS1	1671	296	4.51	44.0	4.36	296	0.265	20100	0.269	27.1	3.23	0.2	0.430	0.490	3cycle
NGY90	SS2	1216	293	4.51	44.0	4.36	296	0.264	20100	0.269	27.1	3.23	0.2	0.426	0.356	3cycle
NGY90	SS3	1671	295	4.51	50.0	4.31	296	0.229	20100	0.269	27.1	5.03	0.2	0.429	0.495	3cycle
NGY90	SS4	1671	295	4.51	50.0	4.31	296	0.229	20100	0.269	27.1	5.03	0.2	0.429	0.495	3cycle
NGY90	SS5	1671	295	4.51	50.0	4.31	296	0.229	20100	0.269	27.1	5.03	0.2	0.429	0.495	3cycle
NGY90	SS6	1671	296	4.51	50.0	6.25	296	0.215	20100	0.269	27.1	5.39	0.2	0.446	0.521	3cycle
NGY90	SS7	1671	294	4.51	50.0	4.31	198	0.153	20100	0.269	27.1	13.6	0.2	0.428	0.495	3cycle
NGY91	C-M	1117	273	4.45	42.0	4.45	271	0.299	20700	0.266	39.0	3.14	0.2	0.472	0.417	Monotonic
NGY91	C-C-1	1117	274	4.45	42.0	4.45	270	0.298	20700	0.266	39.0	3.19	0.2	0.474	0.417	1cycle
NGY91	C-C-3	1118	273	4.45	42.0	4.45	272	0.300	20700	0.266	39.0	3.12	0.2	0.472	0.420	3cycle
NGY91	C-C-5	1118	274	4.45	42.0	4.45	271	0.299	20700	0.266	39.0	3.17	0.2	0.474	0.420	5cycle
NGY91	C-C-8	1118	273	4.45	42.0	4.45	272	0.300	20700	0.266	39.0	3.12	0.2	0.472	0.420	8cycle
NGY91	C-CC	1118	273	4.45	42.0	4.45	272	0.301	20700	0.266	39.0	3.1	0.2	0.472	0.420	無限大cycle
NGY92	S30-25[0]	835	277	5.91	53.0	5.91	279	0.184	22074	0.270	28.8	3.28	0.2	0.300	0.260	Monotonic
NGY92	S30-25[3]	836	277	5.91	53.0	5.91	279	0.184	22074	0.270	28.8	3.28	0.2	0.300	0.261	3cycle
NGY92	S30-50[0]	1577	278	5.91	53.0	5.91	279	0.184	22074	0.270	28.8	3.28	0.2	0.301	0.491	Monotonic
NGY92	S30-50[3]	1578	277	5.91	53.0	5.91	279	0.184	22074	0.270	28.8	3.28	0.2	0.300	0.489	3cycle
NGY92	S45-25[0]	1213	417	5.87	58.0	5.87	418	0.309	21449	0.271	32.4	3.28	0.2	0.489	0.265	Monotonic
NGY92	S45-25[3]	1217	416	5.87	58.0	5.87	418	0.308	21449	0.271	32.4	3.28	0.2	0.488	0.265	3cycle
NGY92	S45-50[0]	1667	300	4.27	40.0	5.91	303	0.299	22041	0.283	32.7	3.5	0.2	0.477	0.502	Monotonic
NGY92	S45-50[3]	1667	299	4.27	40.0	5.91	303	0.299	22041	0.283	32.7	3.5	0.2	0.475	0.502	3cycle
NGY95	S30-25H	598	202	4.76	39.0	4.76	202	0.198	21190	0.271	33.4	2.7	0.2	0.298	0.281	3Cycle
NGY95	S30-60H	1436	202	4.79	39.0	4.79	202	0.197	21190	0.271	33.4	2.7	0.2	0.296	0.273	3Cycle

表 - 3.5 準静的実験結果（無補剛断面）

Org.	Specimen	H_{y0} (tf)	δ_{y0} (mm)	δ_y (mm)	$\frac{H_y}{H_{y0}}$	$\frac{H_{max}}{H_y}$	$\frac{\delta_m}{\delta_y}$	$\frac{\delta_{95}}{\delta_y}$	$\frac{\delta_u}{\delta_y}$	note
KYTS	B-TKP-M1	9.06	12.8	12.5	0.938	1.20	2.75			漸増（地震動をモデル化）
KYTS	B-TKP-M2	9.08	12.8	11.8	0.893	1.24	2.37	3.89		
KYTS	B-TKP-C	9.07	12.8	12.5	0.938	1.23	2.60	3.54	4.57	
OCU96	S-O-G00	3.49	4.04	3.71	0.855	1.29	5.47			
OCU96	S-O-G17	3.52	4.05	3.72	0.856	1.29	5.46			
OCU93	S-L0	4.09	4.89	4.66	0.888	1.29	2.79			
OCU92	S-1-G3	3.83	5.41	4.96	0.862	1.29	3.47			
OCU92	S-R-G0	3.92	6.11	5.57	0.863	1.28	3.11			
OCU91	S-1-01	3.83	4.63	4.27	0.863	1.29	3.25			
OCU91	S-1-02	3.83	4.63	4.27	0.863	1.29	3.25			
OCU91	S-2-0	3.22	3.90	3.60	0.863	1.40	2.93			
NGY89	U5-0C	2.48	5.98	6.25	1.00	1.28	2.11	7.22	10.7	
NGY89	U5-2M	2.50	6.03	5.04	0.800	1.70	3.05	4.53	18.9	
NGY89	U5-2C	2.46	6.04	5.05	0.800	1.73	2.93	3.95	8.40	
NGY89	U7-0C	3.41	8.53	8.91	1.00	1.20	2.03	3.37	5.67	
NGY89	U7-1C	3.40	8.54	8.02	0.900	1.34	1.79	2.72	5.76	
NGY89	U7-2M	3.39	8.57	7.16	0.800	1.49	2.13	2.89	8.82	
NGY89	U7-2C	3.41	8.57	7.16	0.800	1.34	3.16	3.47	5.22	
NGY89	U7-2CC	3.41	8.58	7.17	0.800	1.34	3.12	3.20	3.47	
NGY89	U9-1C	4.75	9.42	8.92	0.900	1.14	2.30	2.51	4.95	
NGY90	UU0	3.64	4.33	4.66	1.00	1.18	2.38	4.03	4.99	3 Cycle
NGY90	UU1	3.64	4.33	3.72	0.799	1.46	3.14	3.35	4.67	3 Cycle
NGY90	UU6	4.45	6.25	4.27	0.640	1.55	2.63	2.93	4.65	3 Cycle
NGY90	UU10	7.98	5.34	3.96	0.700	2.04	11.2	14.9	28.5	3 Cycle
NGY90	UU11	7.98	5.34	4.52	0.799	1.89	11.8	15.7	37.6	3 Cycle
NGY92	U45-25[0]	6.43	1.87	1.72	0.880	1.80	9.79	20.4	52.4	Monotonic
NGY92	U45-25[3]	6.30	1.88	1.72	0.900	1.64	4.72	6.50	11.0	3 Cycle
NGY92	U45-40[0]	3.97	4.81	4.07	0.870	1.55	5.46	8.74	22.2	Monotonic
NGY92	U45-40[3]	3.98	4.83	4.08	0.880	1.60	3.62	5.06	7.12	3 Cycle
NGY92	U70-25[0]	9.51	3.21	2.71	0.820	1.49	3.43	4.39	15.0	Monotonic
NGY92	U70-25[3]	9.52	3.20	2.70	0.820	1.49	2.67	3.08	5.03	3 Cycle
NGY92	U70-40[0]	6.18	7.68	5.99	0.800	0	0	0	0	Monotonic
NGY92	U70-40[3]	6.18	7.68	5.99	0.810	1.37	1.83	3.14	4.30	3 Cycle

表 - 3.6 準静的実験結果 (補剛断面 その1)

Org.	Specimen	H_{y0} (tf)	δ_{y0} (mm)	δ_y (mm)	$\frac{H_y}{H_{y0}}$	$\frac{H_{max}}{H_y}$	$\frac{\delta_m}{\delta_y}$	$\frac{\delta_{95}}{\delta_y}$	$\frac{\delta_u}{\delta_y}$	note
KYTI	A	3.20	10.9	8.79	0.878	1.37	3.00			軸力 13tf, 1 Cycle
KYTI	B	3.31	10.8	8.74	0.877	1.36	3.01			軸力 13tf, 1 Cycle
KYTI	C	3.48	10.8	8.74	0.876	1.24	3.01			軸力 13tf, 1 Cycle
KYTS	B-SNF3-M	11.0	9.44	9.72	0.938	1.44	7.24			
KYTS	B-SNF3-C	11.0	9.51	9.79	0.938	1.40	3.99			
KYTS	B-SNF1-M	12.5	11.6	11.5	0.938	1.25	6.59			
KYTS	B-SNF1-C	12.4	11.5	11.4	0.938	1.19	3.20			
KYTS	B-NEW-M1	10.9	10.2	10.3	0.938	1.36	6.82			
KYTS	B-NEW-C	10.7	10.3	10.3	0.938	1.35	3.03	4.36		3 Cycle
KYTS	B-ALT-M1	11.0	9.42	9.96	0.938	1.56	7.39			
KYTS	B-ALT-M2	11.1	9.41	9.47	0.893	1.56	7.89			
KYTS	B-ALT-C	11.0	9.43	9.96	0.938	1.51	3.44	5.06		3 Cycle
KYTS	K1-STD	8.07	15.1	12.8	0.800	1.35	2.61			3 Cycle
KYTS	K1-BS	7.94	15.2	12.9	0.800	1.43	3.26			
KYTS	K1-BW	7.94	15.2	12.9	0.800	1.20	3.59			
KYTS	K2-S	7.17	12.5	11.2	0.899	1.14	2.87			
NSC	S6-30Real	123	8.66	7.57	0.800	1.71	3.57	4.12		
NSC	S6-30	137	8.66	7.65	0.800	1.83	5.19	6.06		
NSC	S2-30	169	8.46	7.31	0.800	1.58	3.92	4.80		
NSC	S2-30	169	8.46	7.31	0.800	1.58	3.92	4.80		
NSC	S2-25	141	10.2	8.61	0.800	1.64	5.83	7.77		
NSC	S2-20	128	12.2	10.1	0.800	1.65	7.58	9.91		
NSC	S2-30-H	147	7.76	6.69	0.800	1.61	3.04	4.17		
NSC	S2-30-L	125	6.49	5.60	0.800	1.71	4.65	5.56		
NSC	S2-30-M	169	8.46	7.31	0.800	1.58	3.92	4.80		
NSC	S2-30-Hot	122	6.71	5.79	0.800	1.60	3.86	4.63		
MP-87	S1	9.79	10.9	10.5	0.890	1.72	2.84		5.46	溶接脚長 3.3mm
HP-87	S2	9.79	10.9	10.5	0.890	1.66	2.61			溶接脚長 4.5mm
HP-88	S6	12.9	15.4	15.3	0.917	1.30	2.34			S1 + 1 δ → 7 δ (1回)
HP-88	S7	12.9	15.4	15.3	0.917	1.34	2.33			S1 + 6 δ → 1 δ (1回)
HP-89	S8	13.7	15.4	15.4	0.921	1.48	1.71			S1 + 繰り返し回数 3回
HP-89	S9	13.7	15.4	15.4	0.921	1.45	1.64			S1 + 繰り返し回数 5回
HP-88	S10	13.2	13.5	13.4	0.919	1.40	2.72	3.59		S1 + 縦リブ 40*3.2 必要剛比の 2倍
HP-88	S11	13.5	13.5	13.5	0.922	1.50	2.15	4.32		S1 + 縦リブ 50*3.2 必要剛比の 4倍
HP-88	S12	18.0	13.5	14.2	0.946	1.47	3.01	4.13		S1 + 縦リブ 40*10 必要剛比の 9倍
MP-89	S13	63.7	59.0	57.9	0.933	1.42	2.37	4.14		S15 + 横リブ間隔 300
MP-89	S14	63.7	59.0	57.9	0.933	1.38	2.24	2.65		S15 + 横リブ間隔 680
MP-89	S15	63.7	59.0	57.9	0.933	1.39	2.39	4.16		横リブ間隔 300 縦リブ 5本
MP-89	S18	61.5	59.0	57.6	0.930	1.38	2.42	2.87		S15 + 縦リブ 4本
MP-89	S19	7.24	14.7	14.1	0.913	1.69	2.89	6.05		
PM-90	S23	56.3	63.2	61.4	0.924	1.20	1.75	2.29		標準供試体 ($\gamma l / \gamma l^*_{req}=4$)
PM-90	S24	60.2	62.7	61.7	0.930	1.21	1.79	2.80		標準供試体 + 64*10 ($\gamma l / \gamma l^*_{req}=6$)
PM-90	S25	52.1	57.4	55.4	0.918	2.15	2.23	2.76		標準供試体 + 外リブ
PMH92	S26	51.5	59.0	56.9	0.916	1.05	2.20	2.30		標準供試体 + ラウンドコーナー
PMH92	S27	51.5	59.0	56.9	0.916	1.13	1.58	2.34		標準供試体で繰り返し回数 1回
PMH92	S28	51.5	59.0	56.9	0.916	1.10	1.61	2.07		$\gamma l / \gamma l^*_{req}=1$
PMH93	S29	74.5	57.4	56.2	0.928	1.34	3.16	4.34		幅圧比を低下 ($\gamma l / \gamma l^*_{req}=4$)
MP-83	S30	0	0	42.0	0.844	1.21	1.53			中間部で座屈
MP-83	S31	0	0	42.0	0.848	1.26	1.72			中間部で座屈
MP-84	S32	0	0	27.8	0.880	1.11	1.30			中間部で座屈
PMH92	S50	62.3	59.9	57.7	0.907	1.14	2.25	2.74		片振り
PMH92	S51	62.3	59.9	57.7	0.907	1.20	1.85	2.33		両振り
PMH93	S53	82.9	42.4	41.2	0.928	2.11	3.07			縦リブ 1本 (169*19)
PMH95	S55	59.9	62.0	61.5	0.947					
PMH95	S56	59.9	62.0	61.5	0.945					
MEPC	M1	158	7.15	8.43	0.861	1.37	1.60	1.95	3.60	静的繰り返し試験
MEPC	M2	173	7.52	9.02	0.868	1.29	1.62	1.93	2.49	静的繰り返し試験
MEPC	M3	197	8.00	10.6	0.875	1.50	3.49	4.13	6.60	静的繰り返し試験
MEPC	M4	206	6.99	8.69	0.858	1.33	2.64	3.65	6.18	静的繰り返し試験
HEPC	H1	63.1	60.6	57.7	0.896	1.14	2.25			Monotonic
HEPC	H2	63.1	60.6	57.7	0.896	1.20	1.85			3 Cycle
HEPC	H4	82.7	41.4	40.4	0.930	2.66	3.13			10 Cycle
HEPC	H5	69.2	62.4	59.7	0.906	1.27	3.23			Monotonic
HEPC	H6	69.2	62.4	59.7	0.906	1.40	3.16			
HEPC	H7	69.2	62.4	59.7	0.906	1.35	2.65			
HEPC	H8	69.2	62.4	59.7	0.906	1.23	2.10			3 Cycle

表 - 3.7 準静的実験結果 (補剛断面 その2)

Org.	Specimen	H_{y0} (tf)	δ_{y0} (mm)	δ_y (mm)	$\frac{H_y}{H_{y0}}$	$\frac{H_{max}}{H_y}$	$\frac{\delta_m}{\delta_y}$	$\frac{\delta_{95}}{\delta_y}$	$\frac{\delta_u}{\delta_y}$	note
NGY89	S3-0C(1)	5.37	7.58	8.11	1.00	1.46	5.59	8.29	12.1	3 Cycle
NGY89	S3-2C(1)	5.39	7.55	6.46	0.800	1.78	4.50	6.58	11.0	3 Cycle
NGY89	S3-2C(3)	5.74	7.31	6.28	0.800	1.75	5.46	8.20	14.0	3 Cycle
NGY89	S3-4C(3)	5.51	7.56	4.78	0.590	2.25	6.46	6.84	10.7	3 Cycle
NGY89	S5-0C(1)	9.26	11.4	12.3	1.00	1.10	3.20	4.74	5.50	3 Cycle
NGY89	S5-1C(1)	9.32	11.3	10.5	0.860	1.37	3.02	4.17	6.33	3 Cycle
NGY89	S5-2C(1)	9.32	11.3	9.27	0.760	1.46	3.30	3.53	4.76	3 Cycle
NGY89	S5-2CC(1)	9.26	11.3	9.25	0.760	1.39	3.02	3.12	3.31	3 Cycle
NGY89	S5-1C(3)	9.51	11.3	10.5	0.860	1.35	2.92	5.43	7.62	3 Cycle
NGY89	S5-2C(3)	9.51	11.3	9.39	0.770	1.48	3.13	3.73	6.19	3 Cycle
NGY89	S5-1C(5)	9.63	11.3	10.5	0.860	1.43	3.31	4.36	7.83	3 Cycle
NGY89	S5-2C(5)	9.63	11.3	9.41	0.770	1.53	2.96	3.24	6.70	3 Cycle
NGY89	S6-1C(1)	10.7	14.6	12.6	0.810	1.42	3.52	3.79	5.39	3 Cycle
NGY89	S6-2C(1)	10.4	14.8	11.4	0.720	1.46	3.30	3.48	4.47	3 Cycle
NGY89	S6-1C(3)	11.0	14.6	12.6	0.810	1.44	3.74	4.29	6.87	3 Cycle
NGY89	S6-2C(5)	11.1	14.5	11.3	0.730	1.48	3.40	3.76	5.66	3 Cycle
NGY90	SS1	6.12	12.7	10.7	0.800	1.39	3.01	3.68	4.45	3 Cycle
NGY90	SS2	8.40	6.73	5.95	0.800	1.51	4.07	5.22	6.62	3 Cycle
NGY90	SS3	6.19	12.7	10.8	0.800	1.34	3.02	4.39	5.17	3 Cycle
NGY90	SS4	6.19	12.7	10.8	0.800	1.40	3.40	4.72	5.73	3 Cycle
NGY90	SS5	6.19	12.7	10.8	0.800	1.35	3.36	4.32	5.36	3 Cycle
NGY90	SS6	7.11	13.6	11.3	0.780	1.44	4.26	6.16	8.61	3 Cycle
NGY90	SS7	6.19	12.7	10.8	0.800	1.41	3.27	3.67	5.20	3 Cycle
NGY91	C-M	10.8	8.42	7.26	0.780	1.68	4.22	7.13	16.7	Monotonic
NGY91	C-C-1	10.9	8.42	7.27	0.780	1.74	5.96	6.56	10.2	
NGY91	C-C-3	10.8	8.48	7.31	0.780	1.78	6.02	6.40	8.99	3 Cycle
NGY91	C-C-5	10.8	8.48	7.31	0.780	1.83	5.89	6.22	8.64	5 Cycle
NGY91	C-C-8	10.8	8.48	7.31	0.780	1.78	4.76	5.58	7.91	8 Cycle
NGY91	C-CC	10.8	8.48	7.31	0.780	1.83	5.75	5.89	6.24	定変位無限大繰り返し
NGY92	S30-25[0]	14.7	3.18	3.05	0.880	1.74	17.9	25.2	47.3	Monotonic
NGY92	S30-25[3]	14.7	3.19	3.05	0.880	1.84	10.4	11.5	18.6	3 Cycle
NGY92	S30-50[0]	7.79	11.3	9.57	0.880	1.49	4.01	10.0	41.8	Monotonic
NGY92	S30-50[3]	7.82	11.3	9.53	0.880	1.60	6.95	8.86	10.5	3 Cycle
NGY92	S45-25[0]	25.2	5.25	4.98	0.780	1.49	6.19	8.51	18.4	Monotonic
NGY92	S45-25[3]	25.0	5.28	5.00	0.770	1.53	4.20	6.38	9.31	3 Cycle
NGY92	S45-50[0]	7.33	13.4	11.2	0.810	1.52	3.27	5.67	11.0	Monotonic
NGY92	S45-50[3]	7.32	13.4	11.2	0.810	1.52	3.48	4.02	6.77	3 Cycle
NGY95	S30-25H	10.3	2.69	2.60	0.800	2.14	10.4	11.2		3 Cycle
NGY95	S30-60H	4.32	15.5	12.8	0.800	1.73	6.03			3 Cycle
HEPC	H9	47.0	58.4	56.8	0.943	1.51	3.95			
NGY90	P10-1C	4.03	6.45	5.80	0.901	1.95	6.97			パイプ断面 3 Cycle
NGY90	P10-2C	3.95	6.47	5.17	0.800	2.16	6.84			パイプ断面 3 Cycle
NGY90	P12-1C	4.25	8.76	7.89	0.900	1.53	3.54			パイプ断面 3 Cycle
NGY90	P12-2C	4.54	9.37	7.48	0.800	1.90	4.28			パイプ断面 3 Cycle
NGY90	P17-1C	8.14	10.6	10.1	0.950	1.34	3.98			パイプ断面 3 Cycle
NGY90	P17-2C	7.98	10.6	8.91	0.840	1.49	4.00			パイプ断面 3 Cycle

表-3.8 供試体諸元 (準静的実験 コンクリート充填無補剛断面)

Org.	Specimen	h (mm)	b (mm)	t (mm)	l _d (mm)	l _c (mm)	E (kgf/mm ²)	ν	σ _y (kgf/mm ²)	σ _{ck} (kgf/mm ²)	P/P _y	R _f	λ	note
OCU96	R-O-G00	750	140	4.56	—	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.145	0.620	0.267	(破壊するまで載荷)
OCU96	R-O-G17	750	140	4.57	—	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.145	0.620	0.267	(破壊するまで載荷) 中空合成柱
OCU96	R-IE-G00	750	140	4.58	—	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.145	0.619	0.267	中空合成柱
OCU96	R-IE-G17	750	140	4.55	—	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.146	0.622	0.267	(破壊するまで載荷) 二重鋼管
OCU96	R-IS-G00	750	140	4.56	—	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.146	0.619	0.267	二重鋼管
OCU96	R-IS-G17	750	140	4.55	—	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.146	0.623	0.267	(破壊するまで載荷) 二重鋼管
OCU96	R-V-G00	750	138	4.59	—	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.144	0.609	0.267	(破壊するまで載荷) 二重鋼管
OCU96	R-V-G17	750	140	4.58	—	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.145	0.618	0.267	二重鋼管
OCU93	R-L/4	750	140	4.50	—	113	20900	0.270	42.2	3.42	0.112	0.742	0.309	漸増 (地震動をモデル化して載荷)
OCU93	R-L/3	750	140	4.50	—	170	20900	0.270	42.2	3.39	0.112	0.742	0.309	漸増 (地震動をモデル化して載荷)
OCU93	R-L/2	750	140	4.50	—	255	20900	0.270	42.2	3.35	0.112	0.742	0.309	漸増 (地震動をモデル化して載荷)
OCU92	R-D-G0	750	138	4.47	—	750	20200	0.230	36.6	3.51	0.138	0.715	0.302	鉄筋補強
OCU92	R-D-G4	750	139	4.47	—	750	20200	0.230	36.6	3.51	0.138	0.710	0.302	鉄筋補強
OCU92	R-S-G0	750	139	4.47	—	750	20200	0.230	36.6	3.51	0.138	0.710	0.301	スタッド補強
OCU92	R-S-G4	750	140	4.47	—	750	20200	0.230	36.6	3.51	0.138	0.712	0.301	スタッド補強
OCU92	R-R-G0	750	R柱	4.47	—	750	20200	0.230	36.6	3.51	0.137	—	0.299	R柱
OCU92	R-R-G9	750	R柱	4.47	—	750	20200	0.230	36.6	3.51	0.137	—	0.299	R柱
OCU91	R-2-01	750	140	4.48	—	750	21900	0.280	36.6	2.76	0.137	0.674	0.279	0.674
OCU91	R-2-02	750	140	4.48	—	750	21900	0.280	36.6	2.76	0.137	0.674	0.279	0.674
OCU91	R-1-0	750	140	4.48	—	750	21900	0.280	36.6	2.76	0.137	0.674	0.279	0.674
OCU91	R-2-S	750	140	4.48	—	750	21900	0.280	36.6	2.76	0.137	0.674	0.279	0.674
OCU91	R-2-G2	750	140	4.48	—	750	21900	0.280	36.6	2.76	0.137	0.674	0.279	0.674
OCU91	R-1-G3	750	140	4.48	—	750	21900	0.280	36.6	2.76	0.137	0.674	0.279	0.674
OCU91	R-1-G4	750	140	4.48	—	750	21900	0.280	36.6	2.76	0.137	0.674	0.279	0.674
NGY90	UU2	762	154	4.51	229	229	20100	0.269	27.1	4.30	0.2	0.664	0.362	3 Cycle
NGY90	UU3	762	154	4.51	381	381	20100	0.269	27.1	4.31	0.2	0.664	0.362	3 Cycle
NGY90	UU4	762	154	4.51	381	381	20100	0.269	27.1	4.34	0.2	0.664	0.362	3 Cycle
NGY90	UU5	1216	154	4.51	365	365	20100	0.269	27.1	4.16	0.2	0.664	0.577	3 Cycle
NGY90	UU7	1035	198	4.51	311	311	20100	0.269	27.1	4.18	0.2	0.854	0.381	3 Cycle
NGY92	UC70-40-3[0]	1216	217	5.87	365	365	21516	0.270	31.4	3.71	0.2	0.750	0.429	単調
NGY92	UC70-25-3[0]	788	217	5.87	236	236	21516	0.270	31.4	3.71	0.2	0.750	0.276	単調
NGY92	UC70-25-3[3]	788	217	5.87	236	236	21516	0.270	31.4	3.71	0.2	0.750	0.276	3 Cycle
NGY92	UC70-25-5[3]	788	217	5.87	394	394	21516	0.270	31.4	3.71	0.2	0.750	0.276	3 Cycle
NGY92	UC70-25-3[3]D	788	217	5.87	453	236	21516	0.270	31.4	3.71	0.2	0.750	0.278	3 Cycle
NGY92	UC70-25-5[3]D	788	217	5.87	611	394	21516	0.270	31.4	3.71	0.2	0.750	0.277	3 Cycle
NGY92	UC90-40-5[3]	1578	278	5.87	789	789	21516	0.270	31.4	3.71	0.2	0.961	0.434	3 Cycle

表-3.9 供試体諸元 (準静的実験 コンクリート充填補剛断面)

Org.	Specimen	h (mm)	b (mm)	t (mm)	b _s (mm)	t _s (mm)	l _d (mm)	$\bar{\lambda}_s$	l _c (mm)	E ($\frac{kgf}{mm^2}$)	ν	σ_y ($\frac{kgf}{mm^2}$)	σ_{ck} ($\frac{kgf}{mm^2}$)	γ/γ^*	P/P _y	R _f	$\bar{\lambda}$	note
KYTS	K1-C	1670	314	4.59	42	4.50	297	0.321	600	20900	0.277	34.7	1.75		0.2	0.492	0.522	
KYTS	K1-R	1669	314	4.61	42	4.10	297	0.326	600	20900	0.277	34.7	0.114		0.2	0.490	0.523	ウレタン充填
MP-89	S16	6000	810	10.0	64	6.00	390	0.302	2000	19560	0.3	38.5	0.768	1.009	0.0669	0.311	0.535	S15 + コンクリート
MP-89	S17	6000	810	10.0	55	4.50	390	0.396	2000	19560	0.3	38.5	0.768	0.949	0.0685	0.311	0.536	S16 + Tリブ
MP-89	S20	2400	325	4.50	30	3.20	260	0.349	780	19770	0.3	24.2	2.41	0.82	0.0869	0.318	0.392	S19 + コンクリート
MP-92	S52	6000	808	8.00	64	6.00	585	0.481	1520	20400	0.3	40.7	2.91	0.56	0.0921	0.47	0.526	S51 + コンクリート
MP-95	S54	6000	791	9.00	60	6.00	500	0.511	1700	21000	0.3	44.3	1.50	1.16	0.0757	0.537	0.552	
MEPC	M5	2423	890	9.97	65	5.98	900	0.926	2700	21000	0.3	35.8	3.10		0.134	0.646	0.25	静的繰り返し試験
MEPC	M6	2423	890	9.96	75	9.11	900	0.580	2700	21000	0.3	36.1	2.91		0.133	0.487	0.254	静的繰り返し試験
HEPC	H3	6000	808	10.0	64	6.00	585	0.487	820	20400	0.3	40.7	2.91	0.56	0.104	0.35	0.526	3cycle
NGY90	SS8	1671	295	4.51	44	4.36	296	0.265	556	20100	0.269	27.1	2.40	1.16	0.2	0.429	0.49	3cycle
NGY90	SS9	1671	295	4.51	38	4.39	296	0.314	927	20100	0.269	27.1	2.40	0.984	0.2	0.43	0.487	3cycle
NGY92	SC45-25-3[0]	838	301	4.27	23	5.87	301	0.559	251	22026	0.283	32.6	3.71	1.17	0.2	0.479	0.245	単調
NGY92	SC45-25-3[3]	838	302	4.27	23	5.87	302	0.562	251	22026	0.283	32.6	3.71	1.18	0.2	0.48	0.244	3cycle
NGY92	SC45-25-5[3]	838	301	4.27	34	5.87	301	0.358	419	22026	0.283	32.6	3.71	1.22	0.2	0.479	0.249	3cycle
NGY92	SC60-35-3[3]	1671	402	4.27	34	5.87	402	0.544	501	22026	0.283	32.6	3.71	1.24	0.2	0.641	0.366	3cycle
NGY92	SC60-35-5[3]	1671	402	4.27	34	5.87	402	0.544	836	22026	0.283	32.6	3.71	1.24	0.2	0.639	0.367	3cycle
NGY94	SC45-32-5BH	1660	421	6.07	46	6.00	743	0.650	830	20910	0.271	26.5	3.12	1	0.195	0.43	0.320	3cycle
NGY94	SC45-32-5BRH	1610	420	6.12	46	6.00	743	0.651	805	20910	0.271	26.5	3.08	1	0.2	0.43	0.320	3cycle
NGY94	SC45-50-3H	1749	306	5.00	44	4.50	198	0.188	524.7	21012	0.303	27.7	1.88	3	0.148	0.59	0.480	3cycle
NGY94	SC45-60-3H[A]	1468	204	4.75	31	4.50	198	0.290	440.4	21114	0.279	32.4	1.88	3	0.133	0.45	0.620	3cycle
NGY94	SC45-60-3H[B]	1468	204	4.76	31	4.50	198	0.289	440.4	21114	0.279	32.4	1.88	3	0.1	0.44	0.620	3cycle*
NGY94	SC45-70-3H	1778	203	5.01	31	4.50	198	0.288	533.4	21114	0.289	32.0	1.88	3	0.134	0.42	0.760	3cycle
NGY94	SC45-70-5H	1781	204	4.99	31	4.50	198	0.264	890.5	21012	0.282	27.3	1.88	3	0.132	0.39	0.690	3cycle
NGY95	SC45-25-25H	904	303	5.00	43	5.00	303	0.280	227	21180	0.266	30.0	1.98	2.4	0.2	0.404	0.262	3Cycle
NGY95	SC45-35-20H[A]	1265	303	4.71	43	4.71	303	0.289	254	20820	0.263	30.5	1.98	2.7	0.2	0.436	0.374	3Cycle
NGY95	SC45-35-20H[B]	1266	303	5.02	43	5.02	303	0.298	254	21140	0.262	33.4	1.98	2.4	0.2	0.424	0.386	Monotonic
NGY95	SC45-60-20H	1434	202	5.05	30	5.05	202	0.255	287	21180	0.266	30.0	1.98	2.3	0.2	0.4	0.619	Monotonic
NGY95	SC45-35-20H[05]	1268	303	4.72	38	4.72	152	0.174	254	21280	0.263	33.3	1.98	8.3	0.2	0.449	0.383	3Cycle
NGY95	SC45-35-20H[10]	1270	303	4.69	54	4.69	303	0.233	254	21270	0.256	33.7	1.98	5.1	0.2	0.456	0.396	3Cycle
NGY95	SC45-35-20H[15]	1270	303	5.04	59	5.04	455	0.300	254	20940	0.264	31.1	1.98	2.5	0.2	0.41	0.386	3Cycle
NGY95	SC40-35-20H[A]	1125	270	5.00	42	5.00	270	0.252	225	21060	0.263	30.9	1.98	3	0.2	0.368	0.372	3Cycle
NGY95	SC40-35-20H[B]	1125	270	4.71	42	4.71	270	0.263	225	21300	0.277	33.2	1.98	3	0.2	0.399	0.385	Monotonic
NGY95	SCS45(38)-35-20H[A]	1273	303	6.30	43	5.03	152	0.171	254	21350	0.272	42.0	1.98	6.3	0.2	0.397	0.43	3Cycle

表 - 3.10 準静的実験結果 (コンクリート充填無補剛断面)

Org.	Specimen	H_{y0} (tf)	δ_{y0} (mm)	δ_y (mm)	$\frac{H_y}{H_{y0}}$	$\frac{H_{max}}{H_y}$	$\frac{\delta_m}{\delta_y}$	$\frac{\delta_{95}}{\delta_y}$	$\frac{\delta_u}{\delta_y}$	note
OCU96	R-O-G00	4.33	5.03	4.61	0.855	1.15	5.56			
OCU96	R-O-G17	4.34	5.03	4.62	0.855	1.15	9.05			
OCU96	R-IE-G00	4.21	4.89	4.48	0.855	1.18	5.73			中空合成柱
OCU96	R-IE-G17	4.19	4.89	4.48	0.854	1.18	8.87			
OCU96	R-IS-G00	4.33	5.03	4.61	0.854	1.16	5.72			二重鋼管
OCU96	R-IS-G17	4.33	5.03	4.61	0.854	1.16	8.46			
OCU96	R-V-G00	4.35	5.02	4.61	0.856	1.15	5.63			二重鋼管
OCU96	R-V-G17	4.35	5.03	4.61	0.855	1.15	8.16			
OCU93	R-L/4	5.44	6.51	6.21	0.888	1.18	2.41			漸増 (地震動をモデル化)
OCU93	R-L/3	5.36	6.41	6.12	0.888	1.17	3.31			漸増 (地震動をモデル化)
OCU93	R-L/2	5.31	6.35	6.06	0.888	1.17	3.20			漸増 (地震動をモデル化)
OCU92	R-D-G0	4.82	6.84	6.28	0.862	1.22	3.67			鉄筋補強
OCU92	R-D-G4	4.82	6.84	6.27	0.862	1.22	3.67			
OCU92	R-S-G0	4.82	6.80	6.24	0.862	1.22	3.47			スタッド補強
OCU92	R-S-G4	4.21	6.00	5.47	0.862	1.22	3.47			
OCU92	R-R-G0	4.62	7.20	6.56	0.863	1.04	3.61			R柱
OCU92	R-R-G9	4.62	7.20	6.56	0.863	1.04	4.01			
OCU91	R-2-01	5.13	6.20	5.72	0.863	1.14	2.97			
OCU91	R-2-02	5.13	6.20	5.72	0.863	1.14	2.97			
OCU91	R-1-0	4.83	5.84	5.39	0.863	1.25	3.27			
OCU91	R-2-S	5.13	6.20	5.72	0.863	1.14	2.97			
OCU91	R-2-G2	5.13	6.20	5.72	0.863	1.14	2.97			
OCU91	R-1-G3	4.83	5.84	5.39	0.863	1.25	3.27			
OCU91	R-1-G4	4.83	5.84	5.39	0.863	1.25	3.27			
NGY90	UU2	3.64	4.33	3.72	0.799	1.93	5.38			3 Cycle
NGY90	UU3	3.64	4.33	3.72	0.799	1.88	6.27			3 Cycle
NGY90	UU4	3.64	4.33	3.72	0.799	1.94	6.55			3 Cycle
NGY90	UU5	2.27	11.1	9.15	0.802	1.78	3.37			3 Cycle
NGY90	UU7	4.45	6.25	4.27	0.640	2.15	3.59			3 Cycle
NGY92	UC70-40-3[0]	6.72	8.57	6.88	0.760	1.89	5.48	6.99		Monotonic
NGY92	UC70-25-3[0]	10.4	3.58	3.09	0.760	1.99	5.36	8.32		Monotonic
NGY92	UC70-25-3[3]	10.4	3.58	3.09	0.760	2.03	4.54	6.95	12.3	3 Cycle
NGY92	UC70-25-5[3]	10.4	3.58	3.09	0.760	2.07	6.55	11.5	21.2	3 Cycle
NGY92	UC70-25-3[3]D	10.4	3.60	3.11	0.760	1.68	4.76	5.72	10.3	3 Cycle
NGY92	UC70-25-5[3]D	10.4	3.58	3.09	0.760	1.70	4.93	7.15	11.4	3 Cycle
NGY92	UC90-40-5[3]	8.50	11.3	6.58	0.550	2.53	3.74	11.3	30.7	3 Cycle

表 - 3.11 準静的実験結果（コンクリート充填補剛断面）

Org.	Specimen	H_{y0} (tf)	δ_{y0} (mm)	δ_y (mm)	$\frac{H_y}{H_{y0}}$	$\frac{H_{max}}{H_y}$	$\frac{\delta_m}{\delta_y}$	$\frac{\delta_{95}}{\delta_y}$	$\frac{\delta_u}{\delta_y}$	note
KYTS	K1-C	8.14	15.0	12.7	0.800	1.61	3.84			
KYTS	K1-R	8.06	15.0	12.7	0.800	1.39	3.42			
MP-89	S16	63.7	59.0	57.9	0.933	1.73	3.57			S15 + コンクリート
MP-89	S17	61.9	59.0	57.7	0.931	1.78	3.59			S16 + Tリブ
MP-89	S20	7.24	14.7	14.1	0.913	2.18	4.26		6.31	S19 + コンクリート
MPH92	S52	62.3	59.9	57.7	0.907	1.32	2.31		2.82	S51 + コンクリート
MPH95	S54	59.9	62.0	61.5	0.948					
MEPC	M5	164	7.41	8.79	0.866	2.00	4.28	5.86	8.31	静的繰り返し試験
MEPC	M6	172	7.48	8.98	0.867	1.83	4.23	6.79	9.18	静的繰り返し試験
HEPC	H3	63.1	60.6	57.7	0.896	1.32	2.31			3 Cycle
NGY90	SS8	6.12	12.7	10.7	0.800	1.91	5.82		9.15	3 Cycle
NGY90	SS9	6.12	12.8	10.8	0.800	1.91	5.46		11.5	3 Cycle
NGY92	SC45-25-3[0]	14.0	3.39	3.25	0.780	2.13	6.73	9.41		Monotonic
NGY92	SC45-25-3[3]	14.0	3.39	3.25	0.780	2.15	7.05	7.60	13.3	3 Cycle
NGY92	SC45-25-5[3]	14.5	3.39	3.32	0.790	2.34	11.5	13.1	22.9	3 Cycle
NGY92	SC60-35-3[3]	12.7	10.1	7.95	0.710	2.21	3.57	4.14	9.29	3 Cycle
NGY92	SC60-35-5[3]	12.6	10.2	7.97	0.710	2.39	7.82	10.2	16.5	3 Cycle
NGY94	SC45-32-5BH	15.5	12.1	7.01	0.809		11.1			3 Cycle
NGY94	SC45-50-3BRH	16.0	11.6	6.72	0.803		11.0			3 Cycle
NGY94	SC45-50-3H	6.22	17.0	10.9	0.853		8.25			3 Cycle
NGY94	SC45-60-3H[A]	3.88	19.1	12.1	0.854		6.78			3 Cycle
NGY94	SC45-60-3H[B]	3.85	21.0	16.2	0.888		6.53			3 Cycle*
NGY94	SC45-70-3H	3.15	25.9	19.3	0.855		4.58			3 Cycle
NGY94	SC45-70-5H	2.68	30.9	17.4	0.872		3.89			3 Cycle
NGY95	SC45-25-25H	14.2	3.74	3.59	0.800	2.30	10.5	14.8		3 Cycle
NGY95	SC45-35-20H[A]	9.73	7.59	6.69	0.800	2.04	6.79	9.68		3 Cycle
NGY95	SC45-35-20H[B]	11.4	8.12	7.16	0.800	1.76	8.88	12.5		Monotonic
NGY95	SC45-60-20H	3.81	13.9	11.5	0.800	1.68	6.18	9.67		Monotonic
NGY95	SC45-35-20H[05]	10.6	8.13	7.15	0.800	2.01	6.98	9.49		3 Cycle
NGY95	SC45-35-20H[10]	10.8	8.25	7.27	0.800	1.85	6.84	9.23		3 Cycle
NGY95	SC45-35-20H[15]	10.7	7.69	6.78	0.800	2.03	9.09	11.4		3 Cycle
NGY95	SC40-35-20H[A]	9.38	6.67	5.88	0.800	2.10	9.19	16.4		3 Cycle
NGY95	SC40-35-20H[B]	9.54	7.13	6.29	0.800	1.95	9.86	12.2		Monotonic
NGY95	SCS45(38)-35-20H[A]	16.2	10.2	8.92	0.800	1.66	6.93	9.28		3 Cycle

表 - 3.12 供試体諸元 (ハイブリッド実験 無補剛断面)

Org.	Specimen	h (mm)	b (mm)	t (mm)	l_d (mm)	E $\left(\frac{kgf}{mm^2}\right)$	ν	σ_y $\left(\frac{kgf}{mm^2}\right)$	P/P_y	R_f	$\bar{\lambda}$	note
OCU96	S-O-G17	750	139	4.61	—	21676	0.274	31.5	0.144	0.611	0.267	JMA NS 1 / 7倍して入力
OCU92	S-2-G2	750	140	4.47	—	20200	0.230	36.6	0.256	0.717	0.301	Level1 3種, Acc.Max.=89.2gal
OCU92	S-1-G3	750	140	4.47	—	20200	0.230	36.6	0.138	0.715	0.301	Level1 3種, Acc.Max.=109.8gal
OCU92	S-1-G4	750	140	4.47	—	20200	0.230	36.6	0.138	0.715	0.301	Level1 3種, Acc.Max.=186.2gal
OCU92	S-R-G6	750	R柱	4.47	—	20200	0.230	36.6	0.137	0.299	0.299	Level1 3種, Acc.Max.=194.7gal R柱
NGY93	U70-40H(A)	1211	216	6.17	216	20655	0.276	25.0	0.138	0.640	0.388	Level2 2種,
NGY93	U70-40H(A)	1211	216	6.17	216	20655	0.276	25.0	0.118	0.640	0.388	Level2 3種
NGY93	U70-40H(A)	1211	216	6.17	216	20655	0.276	25.0	0.166	0.640	0.388	Level2 1種
NGY93	U70-40H(A)	1211	216	6.17	216	20655	0.276	25.0	0.166	0.640	0.388	Level2 1種+50
NGY93	U70-40H(A)	1211	216	6.17	216	20655	0.276	25.0	0.166	0.640	0.388	Level2 1種+50
NGY93	U70-40H(B)	1212	217	6.08	217	20655	0.276	25.0	0.188	0.653	0.388	Level2 3種
NGY93	U70-40H(B)	1212	217	6.08	217	20655	0.276	25.0	0.188	0.653	0.388	Level2 3種
NGY93	U70-40H(B)	1212	217	6.08	217	20655	0.276	25.0	0.188	0.653	0.388	Level2 3種+50
NGY93	U70-40H(B)	1212	217	6.08	217	20655	0.276	25.0	0.188	0.653	0.388	Level2 3種+50
NGY93	U70-40H(B)	1212	217	6.08	217	20655	0.276	25.0	0.188	0.653	0.388	Level2 3種+100
NGY93	U70-40H(C)	1214	217	6.01	217	20655	0.276	25.0	0.138	0.660	0.389	Level2 2種
NGY93	U70-40H(C)	1214	217	6.01	217	20655	0.276	25.0	0.158	0.660	0.389	Level2 2種
NGY93	U70-40H(C)	1214	217	6.01	217	20655	0.276	25.0	0.168	0.660	0.389	Level2 2種

表 - 3.13 供試体諸元 (ハイブリッド実験 補剛断面)

Org.	Specimen	h (mm)	b (mm)	t (mm)	bs (mm)	ts (mm)	ld (mm)	$\bar{\lambda}_s$	E ($\frac{kgf}{mm^2}$)	ν	σ_y ($\frac{kgf}{mm^2}$)	γ/γ^*	P/Py	Rf	$\bar{\lambda}$	note
KYTI	A	1750	227	3.24	27.0	4.21	560	0.907	19400	0.330	23.8	0.99	0.161	0.654	0.416	III 種地盤用, Acc.Max.=150gal
KYTI	B	1750	227	3.28	26.9	4.43	60	0.0961	19400	0.330	23.8	28.3	0.158	0.646	0.416	III 種地盤用, Acc.Max.=150gal
KYTI	C	1750	227	3.29	26.9	4.45	130	0.208	19400	0.330	23.8	10.5	0.158	0.644	0.416	III 種地盤用, Acc.Max.=150gal
KYTS	B-NEW-H	1699	268	5.99	50.0	6.00	275	0.232	20780	0.284	30.3	5.05	0.0623	0.452	0.393	Level1
KYTS	B-NEW-H	1699	268	5.99	50.0	6.00	275	0.232	20780	0.284	30.3	5.05	0.0623	0.452	0.393	Level2
KYTS	B-NEW-H	1699	268	5.99	50.0	6.00	275	0.232	20780	0.284	30.3	5.05	0.0623	0.452	0.393	Level2 x2
KYTS	B-NEW-H	1699	268	5.99	50.0	6.00	275	0.232	20780	0.284	30.3	5.05	0.0623	0.452	0.393	Level2 x3(応答が100mm で終了)
NGY93	S45-25H	1208	417	6.07	58.0	6.00	278	0.180	20655	0.276	25.0	3	0.240	0.420	0.230	Level2 1種
NGY93	S45-25H	1208	417	6.07	58.0	6.00	278	0.180	20655	0.276	25.0	3	0.217	0.420	0.230	Level2 3種
NGY93	S45-25H	1208	417	6.07	58.0	6.00	278	0.180	20655	0.276	25.0	3	0.248	0.420	0.230	Level2 3種
NGY93	S30-25H	827	278	6.11	53.0	6.00	279	0.182	20869	0.271	26.5	3	0.224	0.300	0.260	Level2 1種
NGY93	S30-25H	827	278	6.11	53.0	6.00	279	0.182	20869	0.271	26.5	3	0.273	0.300	0.260	Level2 1種
NGY93	S30-25H	827	278	6.11	53.0	6.00	279	0.182	20869	0.271	26.5	3	0.311	0.300	0.260	Level2 1種
NGY94	S30-50H	1580	278	6.16	53.0	6.00	279	0.189	20910	0.275	28.6	1	0.138	0.290	0.510	Level2 1種
NGY94	S45-50H	1748	305	5.02	44.0	4.50	198	0.189	21012	0.278	27.9	3	0.148	0.590	0.490	Level2 1種
NGY95	S45-35H	973	266	4.31	42.0	4.31	133	0.149	19600	0.277	38.1	14.1	0.143	0.481	0.281	HKB
NGY95	S45-35H	973	266	4.31	42.0	4.31	133	0.149	19600	0.277	38.1	14.1	0.199	0.481	0.281	JMA
NGY95	S45-35H	973	266	4.31	42.0	4.31	133	0.149	19600	0.277	38.1	14.1	0.167	0.481	0.281	JR
NGY95	S30-25H	598	202	4.76	39.0	4.76	202	0.198	21190	0.271	33.4	2.7	0.226	0.298	0.281	JMA
NGY95	S30-25H	598	202	4.76	39.0	4.76	202	0.198	21190	0.271	33.4	2.7	0.191	0.298	0.281	JR
NGY95	S30-60H	1436	202	4.79	39.0	4.79	202	0.197	21190	0.271	33.4	2.7	0.133	0.296	0.673	JMA
NGY95	S30-60H	1436	202	4.79	39.0	4.79	202	0.197	21190	0.271	33.4	2.7	0.091	0.296	0.673	JR
NGY95	S30-60H	1436	202	4.79	39.0	4.79	202	0.197	21190	0.271	33.4	2.7	0.077	0.296	0.673	HKB

表 - 3.14 ハイブリッド実験結果（無補剛断面）

Org.	Specimen	H_{y0} (tf)	δ_{y0} (mm)	δ_y (mm)	$\frac{H_y}{H_{y0}}$	$\frac{\delta_{max}}{\delta_y}$	$\frac{\delta_R}{\delta_y}$	note
OCU96	S-O-G17	3.52	4.05	3.72	0.856	7.80	1.34	JMA NSを1/7倍して入力
OCU92	S-2-G2	3.22	4.56	3.61	0.744	8.31	5.54	Level1 3種 Acc.Max.=89.2gal
OCU92	S-1-G3	3.83	5.41	4.96	0.862	3.63	0	Level1 3種 Acc.Max.=109.8gal
OCU92	S-1-G4	3.83	5.41	4.96	0.862	6.85	1.01	Level1 3種 Acc.Max.=186.2gal
OCU92	S-R-G6	3.93	6.11	5.57	0.863	5.39	1.80	Level1 3種 Acc.Max.=194.7gal R柱
NGY93	U70-40H(A)	5.50	6.50	5.92	0.862	2.58	0.231	Level2 2種, Proc 1
NGY93	U70-40H(A)	5.50	6.50	6.06	0.882	2.87	0.467	Level2 3種, Proc 1
NGY93	U70-40H(A)	5.50	6.50	5.73	0.834	5.50	2.86	Level2 1種, Proc 1
NGY93	U70-40H(A)	5.50	6.50	5.73	0.834	11.2	9.66	Level2 1種+50, Proc 1
NGY93	U70-40H(A)	5.50	6.50	5.73	0.834	23.0	23.0	Level2 1種+50, Proc 1
NGY93	U70-40H(B)	5.50	6.50	5.92	0.882	2.84	0.0792	Level2 3種, Proc2
NGY93	U70-40H(B)	5.50	6.50	5.92	0.882	2.84	0.162	Level2 3種, Proc2
NGY93	U70-40H(B)	5.50	6.50	5.92	0.882	2.84	0.305	Level2 3種, Proc2
NGY93	U70-40H(B)	5.50	6.50	5.92	0.882	3.12	0.586	Level2 3種+50, Proc2
NGY93	U70-40H(B)	5.50	6.50	5.92	0.882	3.46	1.10	Level2 3種+50, Proc2
NGY93	U70-40H(B)	5.50	6.50	5.92	0.882	4.04	1.80	Level2 3種+100, Proc2
NGY93	U70-40H(C)	5.50	6.50	5.92	0.862	2.84	0.319	Level2 2種, Proc3
NGY93	U70-40H(C)	5.50	6.50	5.80	0.842	3.54	0.518	Level2 2種, Proc3
NGY93	U70-40H(C)	5.50	6.50	5.72	0.832	3.64	0.332	Level2 2種, Proc3

表 - 3.15 ハイブリッド実験結果（補剛断面）

Org.	Specimen	H_{y0} (tf)	δ_{y0} (mm)	δ_y (mm)	$\frac{H_y}{H_{y0}}$	$\frac{\delta_{max}}{\delta_y}$	$\frac{\delta_R}{\delta_y}$	note
KYTI	A	3.25	10.9	8.78	0.876			3種地盤用を, Acc.Max.=150gal 軸力13tf
KYTI	B	3.30	10.9	8.77	0.876			3種地盤用を, Acc.Max.=150gal 軸力13tf
KYTI	C	3.31	10.9	8.79	0.877			3種地盤用を, Acc.Max.=150gal 軸力13tf
KYTS	B-NEW-H	10.9	10.2	10.2	0.938	0.381		Level1
KYTS	B-NEW-H	10.9	10.2	10.2	0.938	1.24	0.148	Level2 1回目
KYTS	B-NEW-H	10.9	10.2	10.2	0.938	2.73	0.355	Level2 2回目
KYTS	B-NEW-H	10.9	10.2	10.2	0.938	9.76	9.76	Level2 3回目(応答が100mmで、実験終了)
NGY93	S45-25H	20.0	4.76	4.38	0.760	3.75	1.10	Level2 1種, Proc2
NGY93	S45-25H	20.0	4.76	4.51	0.783	4.54	1.36	Level2 3種, Proc2
NGY93	S45-25H	20.0	4.76	4.33	0.753	5.95	2.79	Level2 3種, Proc2
NGY93	S30-25H	15.0	0.46	3.29	0.776	23.8	8.44	Level2 1種, Proc2
NGY93	S30-25H	15.0	3.46	3.08	0.727	6.52	3.41	Level2 1種, Proc2
NGY93	S30-25H	15.0	3.46	2.92	0.689	11.9	8.31	Level2 1種, Proc2
NGY94	S30-50H	7.93	11.8	10.3	0.862	3.75	1.56	Level2 1種
NGY94	S45-50H	6.22	13.0	10.9	0.859	3.78	0.68	Level2 1種
NGY95	S45-35H	11.2	6.77	7.17	0.840	3.08	1.14	HKB
NGY95	S45-35H	11.2	6.77	6.71	0.786	3.94	1.86	JMA
NGY95	S45-35H	11.2	6.77	6.98	0.817	10.6	5.32	JR
NGY95	S30-25H	10.3	2.69	2.93	0.774	13.0	6.17	JMA
NGY95	S30-25H	10.3	2.69	3.07	0.810	10.4	2.73	JR
NGY95	S30-60H	4.32	15.5	14.3	0.866	2.65	0.0557	JMA
NGY95	S30-60H	4.32	15.5	15.0	0.910	5.39	1.49	JR
NGY95	S30-60H	4.32	15.5	15.2	0.921	2.43	0.0209	HKB

表 - 3.16 供試体諸元 (ハイブリッド実験実験 コンクリート充填無補剛断面)

Org.	Specimen	h (mm)	b (mm)	t (mm)	l _d (mm)	l _c (mm)	E ($\frac{kgf}{mm^2}$)	ν	σ_y ($\frac{kgf}{mm^2}$)	σ_{ck} ($\frac{kgf}{mm^2}$)	P/P _y	R _f	$\bar{\lambda}$	note
OCU96	R-O-G17	750	140	4.57	-	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.145	0.620	0.267	JMA NS 1 / 7 倍 合成柱
OCU96	R-O-G17	750	140	4.57	-	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.145	0.620	0.267	JMA NS 1 / 4 倍
OCU96	R-IE-G17	750	140	4.55	-	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.146	0.622	0.267	JMA NS 1 / 7 倍 中空合成柱
OCU96	R-IE-G17	750	140	4.55	-	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.146	0.622	0.267	JMA NS 1 / 4 倍
OCU96	R-IS-G17	750	140	4.55	-	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.146	0.623	0.267	JMA NS 1 / 7 倍 二重鋼管合成柱
OCU96	R-IS-G17	750	140	4.55	-	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.146	0.623	0.267	JMA NS 1 / 4 倍
OCU96	R-V-G17	750	140	4.58	-	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.145	0.618	0.267	JMA NS 1 / 7 倍 二重鋼管合成柱
OCU96	R-V-G17	750	140	4.58	-	750	21676	0.274	31.5	1.33	0.145	0.618	0.267	JMA NS 1 / 4 倍
OCU92	R-D-G4	750	139	4.47	-	750	20200	0.230	36.6	3.51	0.138	0.707	0.302	Level1 3種, Acc.Max.=186.2gal 鉄筋補強
OCU92	R-S-G4	750	140	4.47	-	750	20200	0.230	36.6	3.51	0.138	0.712	0.302	Level1 3種, Acc.Max.=186.2gal スタッド補強
OCU92	R-R-G9	750	R柱	4.47	-	750	20200	0.230	36.6	3.51	0.137	0.674	0.299	Level1 3種, Acc.Max.=194.7gal R柱
OCU91	R-2-G1	750	140	4.48	-	750	21900	0.280	36.6	2.76	0.137	0.674	0.279	Level1 3種, Acc.Max.=152.9gal
OCU91	R-2-G2	750	140	4.48	-	750	21900	0.280	36.6	2.76	0.137	0.674	0.279	Level1 3種, Acc.Max.=89.7gal
OCU91	R-1-G3	750	140	4.48	-	750	21900	0.280	36.6	2.76	0.137	0.674	0.279	Level1 3種, Acc.Max.=186.4gal
OCU91	R-1-G4	750	140	4.48	-	750	21900	0.280	36.6	2.76	0.137	0.674	0.279	Level1 3種, Acc.Max.=109.7gal
NGY93	UC70-40-3H	1215	217	5.97	217	365	20726	0.277	28.6	2.82	0.166	0.685	0.403	Level2 1種, 14days
NGY93	UC70-40-3H	1215	217	5.97	217	365	20726	0.277	28.6	2.82	0.190	0.685	0.403	Level2 1種
NGY93	UC70-40-3H	1215	217	5.97	217	365	20726	0.277	28.6	2.82	0.193	0.685	0.403	Level2 1種
NGY93	UC70-40-3H	1215	217	5.97	217	365	20726	0.277	28.6	2.82	0.220	0.685	0.403	Level2 1種
NGY93	UC70-40-5H	1211	217	6.04	217	608	20726	0.277	28.6	2.69	0.166	0.677	0.400	Level2 1種, 18days
NGY93	UC70-40-5H	1211	217	6.04	217	608	20726	0.277	28.6	2.69	0.193	0.677	0.400	Level2 1種
NGY93	UC70-40-5H	1211	217	6.04	217	608	20726	0.277	28.6	2.69	0.194	0.677	0.400	Level2 1種
NGY93	UC70-40-5H	1211	217	6.04	217	608	20726	0.277	28.6	2.69	0.221	0.677	0.400	Level2 1種
NGY93	UC90-40-3H	1571	279	5.56	279	473	20726	0.277	28.6	2.82	0.135	0.945	0.404	Level2 1種, 29days
NGY93	UC90-40-3H	1571	279	5.56	279	473	20726	0.277	28.6	2.82	0.187	0.945	0.404	Level2 1種

表 - 3.17 供誌体諸元 (ハイブリッド実験 コンクリート充填補剛断面 その1)

Org.	Specimen	h (mm)	b (mm)	t (mm)	b _s (mm)	t _s (mm)	l _d (mm)	$\bar{\lambda}_s$	l _c (mm)	E $\left(\frac{kgf}{mm^2}\right)$	ν	σ_y $\left(\frac{kgf}{mm^2}\right)$	σ_{ck} $\left(\frac{kgf}{mm^2}\right)$	γ/γ^*	P/P _y	R _f	$\bar{\lambda}$	note
NGY93	SC45-35-3H	1748	420	5.97	42	6.00	420	0.426	529	20726	0.277	28.6	2.67		0.188	0.442	0.342	Level2 1種, 26日強度
NGY93	SC45-35-3H	1748	420	5.97	42	6.00	420	0.426	529	20726	0.277	28.6	2.67		0.222	0.442	0.342	Level2 1種,
NGY93	SC45-35-3H	1748	420	5.97	42	6.00	420	0.426	529	20726	0.277	28.6	2.67		0.187	0.442	0.342	Level2 3種,
NGY94	SC45-32-5BH	1660	421	6.07	46	6.00	743	0.650	830	20910	0.271	26.5	3.12	1	0.141	0.430	0.320	Level2 1種+100gal,
NGY94	SC45-32-5BH	1660	421	6.07	46	6.00	743	0.650	830	20910	0.271	26.5	3.12	1	0.141	0.430	0.320	Level2 3種 58日強度
NGY94	SC45-32-5BH	1660	421	6.07	46	6.00	743	0.650	830	20910	0.271	26.5	3.12	1	0.141	0.430	0.320	Level2 3種
NGY94	SC45-32-5BH	1660	421	6.07	46	6.00	743	0.650	830	20910	0.271	26.5	3.12	1	0.141	0.430	0.320	Level2 3種+100gal
NGY94	SC45-32-5BRH	1610	420	6.12	46	6.00	743	0.651	805	20910	0.271	26.5	3.08	1	0.141	0.430	0.320	Level2 3種+200gal
NGY94	SC45-32-5BRH	1610	420	6.12	46	6.00	743	0.651	805	20910	0.271	26.5	3.08	1	0.141	0.430	0.320	Level2 3種 58日強度
NGY94	SC45-32-5BRH	1610	420	6.12	46	6.00	743	0.651	805	20910	0.271	26.5	3.08	1	0.141	0.430	0.320	Level2 3種
NGY94	SC30-50-2H[R]	1580	278	6.16	53	6.00	279	0.189	316	20910	0.275	28.6	2.59	1	0.135	0.290	0.510	Level2 3種+100gal
NGY94	SC30-50-2H[R]	1580	278	6.16	53	6.00	279	0.189	316	20910	0.275	28.6	2.59	1	0.141	0.290	0.510	Level2 3種+200gal
NGY94	SC45-50-3H	1749	306	5.00	44	4.50	198	0.188	525	21012	0.303	27.7	1.88	3	0.148	0.590	0.480	Level2 1種
NGY94	SC45-50-3H	1749	306	5.00	44	4.50	198	0.188	525	21012	0.303	27.7	1.88	3	0.148	0.590	0.480	Level2 1種
NGY94	SC45-50-3H	1749	306	5.00	44	4.50	198	0.188	525	21012	0.303	27.7	1.88	3	0.149	0.590	0.480	Level2 1種
NGY94	SC45-60-3H[A]	1468	204	4.75	31	4.50	198	0.290	440	21114	0.279	32.4	1.88	3	0.130	0.450	0.620	Level2 1種
NGY94	SC45-60-3H[A]	1468	204	4.75	31	4.50	198	0.290	440	21114	0.279	32.4	1.88	3	0.132	0.450	0.620	Level2 1種
NGY94	SC45-60-3H[A]	1468	204	4.75	31	4.50	198	0.290	440	21114	0.279	32.4	1.88	3	0.082	0.450	0.620	Level2 3種+200gal
NGY94	SC45-60-3H[B]	1468	204	4.76	31	4.50	198	0.289	440	21114	0.279	32.4	1.88	3	0.083	0.440	0.620	Level2 3種
NGY94	SC45-60-3H[B]	1468	204	4.76	31	4.50	198	0.289	440	21114	0.279	32.4	1.88	3	0.100	0.440	0.620	Level2 3種
NGY94	SC45-60-3H[B]	1468	204	4.76	31	4.50	198	0.288	533	21114	0.289	32.0	1.88	3	0.100	0.440	0.620	Level2 3種+100gal*
NGY94	SC45-60-3H[B]	1468	204	4.76	31	4.50	198	0.289	440	21114	0.279	32.4	1.88	3	0.100	0.440	0.620	Level2 3種+200gal*
NGY94	SC45-60-3H[B]	1468	204	4.76	31	4.50	198	0.289	440	21114	0.279	32.4	1.88	3	0.100	0.440	0.620	Level2 3種+300gal*
NGY94	SC45-60-3H[B]	1468	203	5.01	31	4.50	198	0.288	533	21114	0.289	32.0	1.88	3	0.001	0.440	0.620	Level2 3種+400gal*
NGY94	SC45-70-3H	1778	203	5.01	31	4.50	198	0.288	533	21114	0.289	32.0	1.88	3	0.128	0.420	0.760	Level2 1種
NGY94	SC45-70-3H	1778	203	5.01	31	4.50	198	0.288	533	21114	0.289	32.0	1.88	3	0.131	0.420	0.760	Level2 1種
NGY94	SC45-70-3H	1778	203	5.01	31	4.50	198	0.288	533	21114	0.289	32.0	1.88	3	0.132	0.420	0.760	Level2 1種
NGY94	SC45-70-5H	1781	204	4.99	31	4.50	198	0.264	891	21012	0.282	27.3	1.88	3	0.069	0.420	0.760	Level2 3種+200gal
NGY94	SC45-70-5H	1781	204	4.99	31	4.50	198	0.264	891	21012	0.282	27.3	1.88	3	0.122	0.390	0.690	Level2 1種
NGY94	SC45-70-5H	1781	204	4.99	31	4.50	198	0.264	891	21012	0.282	27.3	1.88	3	0.126	0.390	0.690	Level2 1種
NGY94	SC45-70-5H	1781	204	4.99	31	4.50	198	0.264	891	21012	0.282	27.3	1.88	3	0.070	0.390	0.690	Level2 3種+200gal

表 - 3.18 供試体諸元 (ハイブリット充填補剛断面 その2)

Org.	Specimen	h (mm)	b (mm)	t (mm)	b _s (mm)	t _s (mm)	l _d (mm)	$\bar{\lambda}_s$	l _c (mm)	E ($\frac{kgf}{mm^2}$)	ν	σ_y ($\frac{kgf}{mm^2}$)	σ_{ck} ($\frac{kgf}{mm^2}$)	γ/γ^*	P/P _y	R _f	$\bar{\lambda}$	note
NGY95	SC45-25-25H	904	303	5.00	43	5.00	303	0.280	227	21180	0.266	30.0	1.98	2.4	0.172	0.404	0.262	HKB
NGY95	SC45-25-25H	904	303	5.00	43	5.00	303	0.280	227	21180	0.266	30.0	1.98	2.4	0.235	0.404	0.262	JMA
NGY95	SC45-25-25H	904	303	5.00	43	5.00	303	0.280	227	21180	0.266	30.0	1.98	2.4	0.199	0.404	0.262	JR
NGY95	SC45-35-20H[A]	1265	303	4.71	43	4.71	303	0.289	254	20820	0.263	30.5	1.98	2.7	0.130	0.436	0.374	HKB
NGY95	SC45-35-20H[A]	1265	303	4.71	43	4.71	303	0.289	254	20820	0.263	30.5	1.98	2.7	0.182	0.436	0.374	JMA
NGY95	SC45-35-20H[A]	1265	303	4.71	43	4.71	303	0.289	254	20820	0.263	30.5	1.98	2.7	0.152	0.436	0.374	JR
NGY95	SC45-35-20H[B]	1266	303	5.02	43	5.02	303	0.298	254	21140	0.262	33.4	1.98	2.4	0.152	0.424	0.386	JR
NGY95	SC45-35-20H[B]	1266	303	5.02	43	5.02	303	0.298	254	21140	0.262	33.4	1.98	2.4	0.273	0.424	0.386	JMA 1.5 P/P _y
NGY95	SC45-35-20H[B]	1266	303	5.02	43	5.02	303	0.298	254	21140	0.262	33.4	1.98	2.4	0.196	0.424	0.386	HKB 1.5 P/P _y
NGY95	SC45-60-20H	1434	202	5.05	30	5.05	202	0.255	287	21180	0.266	30.0	1.98	2.3	0.081	0.400	0.619	HKB
NGY95	SC45-60-20H	1434	202	5.05	30	5.05	202	0.255	287	21180	0.266	30.0	1.98	2.3	0.129	0.400	0.619	JMA
NGY95	SC45-60-20H	1434	202	5.05	30	5.05	202	0.255	287	21180	0.266	30.0	1.98	2.3	0.096	0.400	0.619	JR
NGY95	SC45-35-20H[05]	1268	303	4.72	38	4.72	152	0.174	254	21280	0.263	33.3	1.98	8.3	0.132	0.449	0.383	HKB
NGY95	SC45-35-20H[05]	1268	303	4.72	38	4.72	152	0.174	254	21280	0.263	33.3	1.98	8.3	0.184	0.449	0.383	JMA
NGY95	SC45-35-20H[05]	1268	303	4.72	38	4.72	152	0.174	254	21280	0.263	33.3	1.98	8.3	0.153	0.449	0.383	JR
NGY95	SC45-35-20H[10]	1270	303	4.69	54	4.69	303	0.233	254	21270	0.256	33.7	1.98	5.1	0.125	0.456	0.396	HKB
NGY95	SC45-35-20H[10]	1270	303	4.69	54	4.69	303	0.233	254	21270	0.256	33.7	1.98	5.1	0.175	0.456	0.396	JMA
NGY95	SC45-35-20H[10]	1270	303	4.69	54	4.69	303	0.233	254	21270	0.256	33.7	1.98	5.1	0.146	0.456	0.396	JR
NGY95	SC45-35-20H[15]	1270	303	5.04	59	5.04	455	0.300	254	20940	0.264	31.1	1.98	2.5	0.124	0.410	0.386	HKB
NGY95	SC45-35-20H[15]	1270	303	5.04	59	5.04	455	0.300	254	20940	0.264	31.1	1.98	2.5	0.174	0.410	0.386	JMA
NGY95	SC45-35-20H[15]	1270	303	5.04	59	5.04	455	0.300	254	20940	0.264	31.1	1.98	2.5	0.145	0.410	0.386	JR
NGY95	SC40-35-20H[A]	1125	270	5.00	42	5.00	270	0.252	225	21060	0.263	30.9	1.98	3	0.129	0.368	0.372	HKB
NGY95	SC40-35-20H[A]	1125	270	5.00	42	5.00	270	0.252	225	21060	0.263	30.9	1.98	3	0.180	0.368	0.372	JMA
NGY95	SC40-35-20H[A]	1125	270	5.00	42	5.00	270	0.252	225	21060	0.263	30.9	1.98	3	0.150	0.368	0.372	JR
NGY95	SC40-35-20H[B]	1125	270	4.71	42	4.71	270	0.263	225	21300	0.277	33.2	1.98	3	0.150	0.399	0.385	JR
NGY95	SC40-35-20H[B]	1125	270	4.71	42	4.71	270	0.263	225	21300	0.277	33.2	1.98	3	0.270	0.399	0.385	JMA 1.5 P/P _y
NGY95	SC40-35-20H[B]	1125	270	4.71	42	4.71	270	0.263	225	21300	0.277	33.2	1.98	3	0.194	0.399	0.385	HKB 1.5 P/P _y
NGY95	SCS45(38)-35-20H[A]	1273	303	6.00	43	5.03	152	0.170	254	21350	0.272	42.0	1.98	6.3	0.131	0.397	0.430	HKB
NGY95	SCS45(38)-35-20H[A]	1273	303	6.10	43	5.03	152	0.170	254	21350	0.272	42.0	1.98	6.3	0.182	0.397	0.430	JMA
NGY95	SCS45(38)-35-20H[A]	1273	303	6.10	43	5.03	152	0.170	254	21350	0.272	42.0	1.98	6.3	0.152	0.397	0.430	JR
NGY95	SCS45(38)-35-20H[B]	1272	303	6.00	43	4.75	152	0.173	254	21350	0.272	42.0	1.98	6.1	0.131	0.397	0.429	HKB
NGY95	SCS45(38)-35-20H[B]	1272	303	6.00	43	4.75	152	0.173	254	21350	0.272	42.0	1.98	6.1	0.183	0.397	0.429	JMA

表 - 3.19 ハイブリッド実験結果（コンクリート充填無補剛断面）

Org.	Specimen	H_{y0} (tf)	δ_{y0} (mm)	δ_y (mm)	$\frac{H_y}{H_{y0}}$	$\frac{\delta_{max}}{\delta_y}$	$\frac{\delta_R}{\delta_y}$	note
OCU96	R-O-G17	4.34	5.03	4.62	0.855	6.50	0.433	JMA NS を 1 / 7 倍して入力
OCU96	R-O-G17	4.34	5.03	4.62	0.855	13.4	6.06	JMA NS を 1 / 4 倍して入力
OCU96	R-IE-G17	4.19	4.89	4.48	0.854	5.80	0.223	JMA NS を 1 / 7 倍して入力 中空合成柱
OCU96	R-IE-G17	4.19	4.89	4.48	0.854	13.4	6.03	JMA NS を 1 / 4 倍して入力
OCU96	R-IS-G17	4.33	5.04	4.61	0.854	6.50	0.434	JMA NS を 1 / 7 倍して入力 二重鋼管
OCU96	R-IS-G17	4.33	5.04	4.61	0.854	13.0	6.50	JMA NS を 1 / 4 倍して入力
OCU96	R-V-G17	4.35	5.03	4.61	0.855	6.29	0.217	JMA NS を 1 / 7 倍して入力 二重鋼管
OCU96	R-V-G17	4.35	5.03	4.61	0.855	12.6	5.42	JMA NS を 1 / 4 倍して入力
OCU92	R-D-G4	4.82	6.84	6.27	0.862	2.87	1.12	Level1 3 種, Acc.Max.=186.2gal 鉄筋補強
OCU92	R-S-G4	4.21	5.97	5.47	0.862	4.93		Level1 3 種, Acc.Max.=186.2gal スタッド補強
OCU92	R-R-G9	4.62	7.20	6.56	0.863	4.57		Level1 3 種, Acc.Max.=194.7gal R 柱
OCU91	R-2-G1	5.13	6.20	5.72	0.863	6.99	6.99	Level1 3 種, Acc.Max.=152.9gal
OCU91	R-2-G2	5.13	6.20	5.72	0.863	2.62		Level1 3 種, Acc.Max.=89.7gal
OCU91	R-1-G3	4.83	5.84	5.39	0.863	3.52		Level1 3 種, Acc.Max.=186.4gal
OCU91	R-1-G4	4.83	5.84	5.39	0.863	4.64		Level1 3 種, Acc.Max.=109.7gal
NGY93	UC70-40-3H	5.84	6.90	6.08	0.834	4.03	0.862	Level2 1 種, Proc2
NGY93	UC70-40-3H	5.84	6.90	5.91	0.810	6.04	2.34	Level2 1 種, Proc2
NGY93	UC70-40-3H	5.84	6.90	5.88	0.807	7.13	3.83	Level2 1 種, Proc2
NGY93	UC70-40-3H	5.84	6.90	5.69	0.780	9.93	6.56	Level2 1 種, Proc2
NGY93	UC70-40-5H	5.84	6.90	6.08	0.834	3.20	0.697	Level2 1 種, Proc2
NGY93	UC70-40-5H	5.84	6.90	5.88	0.807	5.59	1.89	Level2 1 種, Proc2
NGY93	UC70-40-5H	5.84	6.90	6.36	0.871	6.15	2.80	Level2 1 種, Proc2
NGY93	UC70-40-5H	5.84	6.90	6.22	0.853	8.15	5.06	Level2 1 種, Proc2
NGY93	UC90-40-3H	7.39	9.48	5.84	0.678	3.46	0.782	Level2 1 種, Proc2
NGY93	UC90-40-3H	7.39	9.48	5.44	0.631	14.4	14.4	Level2 1 種, Proc2

表 - 3.20 ハイブリッド実験結果（コンクリート充填補剛断面）

Org.	Specimen	H_{y0} (tf)	δ_{y0} (mm)	δ_y (mm)	$\frac{H_y}{H_{y0}}$	$\frac{\delta_{max}}{\delta_y}$	$\frac{\delta_R}{\delta_y}$	note
NGY93	SC45-35-3H	14.6	9.52	8.50	0.812	3.37	0.846	Level2 1種, Proc2
NGY93	SC45-35-3H	14.6	9.52	8.14	0.778	5.22	1.96	Level2 1種, Proc2
NGY93	SC45-35-3H	14.6	9.52	8.51	0.813	4.97	2.41	Level2 3種, Proc2
NGY93	SC45-35-3H	14.6	9.52	8.14	0.778	8.17	5.27	Level2 1種+100, Proc2
NGY94	SC45-32-5BH	15.5	8.08	5.51	0.862	3.24	0.352	Level2 3種
NGY94	SC45-32-5BH	15.5	9.08	7.06	0.862	2.73	0.0194	Level2 3種
NGY94	SC45-32-5BH	15.5	10.1	7.19	0.862	3.25	0.249	Level2 3種+ 100gal
NGY94	SC45-32-5BH	15.5	11.1	7.23	0.862	4.01	0.158	Level2 3種+ 200gal
NGY94	SC45-32-5BRH	16.0	7.60	5.68	0.860	2.66	0.291	Level2 3種
NGY94	SC45-32-5BRH	16.0	8.60	6.66	0.860	2.59	0.228	Level2 3種
NGY94	SC45-32-5BRH	16.0	9.60	6.87	0.860	2.72	0.332	Level2 3種+ 100gal
NGY94	SC45-32-5BRH	16.0	10.6	6.80	0.860	3.34	0.388	Level2 3種+ 200gal
NGY94	SC30-50-2H[R]	7.93	11.8	9.47	0.865	3.29	0.650	Level2 1種
NGY94	SC30-50-2H[R]	7.93	12.8	10.5	0.859	3.28	0.599	Level2 1種
NGY94	SC30-50-2H[R]	7.93	13.8	10.6	0.779	3.37	0.563	Level2 1種
NGY94	SC45-50-3H	6.22	13.0	9.70	0.857	3.11	0.783	Level2 1種
NGY94	SC45-50-3H	6.22	14.0	10.8	0.853	2.94	0.429	Level2 1種
NGY94	SC45-50-3H	6.22	15.0	10.8	0.853	2.73	0.232	Level2 1種
NGY94	SC45-50-3H	6.22	16.0	11.2	0.851	2.63	0.229	Level2 1種
NGY94	SC45-60-3H[A]	3.88	15.1	15.6	0.855	3.43	1.35	Level2 1種
NGY94	SC45-60-3H[A]	3.88	16.1	12.0	0.854	3.15	0.929	Level2 1種
NGY94	SC45-60-3H[A]	3.88	17.1	11.9	0.854	2.89	0.620	Level2 1種
NGY94	SC45-60-3H[A]	3.88	18.1	12.7	0.904	3.82	0.659	Level2 3種+ 200gal
NGY94	SC45-60-3H[B]	3.85	15.0	12.1	0.908	2.52	0.00731	Level2 3種
NGY94	SC45-60-3H[B]	3.85	16.0	13.5	0.888	2.87	0.236	Level2 3種
NGY94	SC45-60-3H[B]	3.85	17.0	14.8	0.888	3.47	0.164	Level2 3種+ 100gal*
NGY94	SC45-60-3H[B]	3.85	18.0	15.2	0.888	3.90	0.0114	Level2 3種+ 200gal*
NGY94	SC45-60-3H[B]	3.85	19.0	15.1	0.888	4.59	0.136	Level2 3種+ 300gal*
NGY94	SC45-60-3H[B]	3.85	20.0	15.8	0.888	5.58	0.0319	Level2 3種+ 400gal*
NGY94	SC45-70-3H	3.15	21.9	16.8	0.861	2.99	0.400	Level2 1種
NGY94	SC45-70-3H	3.15	22.9	18.0	0.858	2.80	0.216	Level2 1種
NGY94	SC45-70-3H	3.15	23.9	18.2	0.858	2.72	0.263	Level2 1種
NGY94	SC45-70-3H	3.15	24.9	19.6	0.920	3.40	0.657	Level2 3種+ 200gal
NGY94	SC45-70-5H	2.68	26.9	14.1	0.878	2.13	0.619	Level2 1種
NGY94	SC45-70-5H	2.68	27.9	15.4	0.875	1.99	0.282	Level2 1種
NGY94	SC45-70-5H	2.68	28.9	15.4	0.875	1.91	0.128	Level2 1種
NGY94	SC45-70-5H	2.68	29.9	16.7	0.932	2.48	0.311	Level2 3種+ 200gal
NGY95	SC45-25-25H	14.2	3.74	3.38	0.828	1.84	0.0706	HKB
NGY95	SC45-25-25H	14.2	3.74	3.13	0.764	8.20	1.88	JMA
NGY95	SC45-25-25H	14.2	3.74	3.27	0.801	9.41	1.33	JR
NGY95	SC45-35-20H[A]	9.73	7.59	6.72	0.869	2.88	0.751	HKB
NGY95	SC45-35-20H[A]	9.73	7.59	6.31	0.818	4.08	1.08	JMA
NGY95	SC45-35-20H[A]	9.73	7.59	6.54	0.848	9.09	2.43	JR
NGY95	SC45-35-20H[B]	11.4	8.12	7.03	0.849	8.55	2.20	JR
NGY95	SC45-35-20H[B]	11.4	8.12	6.03	0.727	3.29	0.536	JMA 1.5P/Py
NGY95	SC45-35-20H[B]	11.4	8.12	6.67	0.805	5.71	1.96	HKB 1.5P/Py
NGY95	SC45-60-20H	3.81	13.9	12.2	0.919	2.72	0.797	HKB
NGY95	SC45-60-20H	3.81	13.9	11.6	0.871	2.64	0.366	JMA
NGY95	SC45-60-20H	3.81	13.9	12.0	0.903	5.47	0.439	JR
NGY95	SC45-35-20H[05]	10.6	8.13	7.15	0.683	3.85	1.20	HKB
NGY95	SC45-35-20H[05]	10.6	8.13	6.72	0.642	4.84	1.29	JMA
NGY95	SC45-35-20H[05]	10.6	8.13	6.96	0.666	11.6	3.17	JR
NGY95	SC45-35-20H[10]	10.8	8.25	7.28	0.868	3.06	0.952	HKB
NGY95	SC45-35-20H[10]	10.8	8.25	6.86	0.818	3.79	0.987	JMA
NGY95	SC45-35-20H[10]	10.8	8.25	7.10	0.847	9.18	2.82	JR
NGY95	SC45-35-20H[15]	10.7	7.69	6.88	0.876	3.02	0.870	HKB
NGY95	SC45-35-20H[15]	10.7	7.69	6.49	0.826	3.97	0.955	JMA
NGY95	SC45-35-20H[15]	10.7	7.69	6.73	0.856	9.19	2.15	JR
NGY95	SC40-35-20H[A]	9.38	6.67	5.98	0.871	2.77	0.761	HKB
NGY95	SC40-35-20H[A]	9.38	6.67	5.63	0.820	4.09	0.432	JMA
NGY95	SC40-35-20H[A]	9.38	6.67	5.84	0.850	9.49	2.500	JR
NGY95	SC40-35-20H[B]	9.54	7.13	6.22	0.850	9.12	2.35	JR
NGY95	SC40-35-20H[B]	9.54	7.13	5.34	0.730	3.83	0.0505	JMA 1.5P/Py
NGY95	SC40-35-20H[B]	9.54	7.13	5.91	0.807	5.34	2.03	HKB 1.5P/Py
NGY95	SCS45(38)-35-20H[A]	16.2	10.2	10.6	0.869	3.18	1.09	HKB
NGY95	SCS45(38)-35-20H[A]	16.2	10.2	9.94	0.818	3.28	0.835	JMA
NGY95	SCS45(38)-35-20H[A]	16.2	10.2	10.3	0.848	7.43	1.40	JR
NGY95	SCS45(38)-35-20H[B]	16.1	10.2	10.6	0.869	3.21	1.07	HKB
NGY95	SCS45(38)-35-20H[B]	16.1	10.2	9.97	0.818	3.12	0.613	JMA

3.4 振動台実験

橋脚の動的な挙動を把握するには振動台実験が有効な手段であるが、種々の制約があり、あまり多くは行われていない。ここでは、首都高速道路公団が土木研究所に委託して行った振動台実験の結果について報告する。

3.4.1 概要

高架橋に用いられている一般的な鋼製橋脚を対象として鋼製橋脚模型を用いて、振動台実験を行い、鋼製橋脚の地震荷重による損傷状況、応答変位などの変形性能（昭和62年度から平成元年度）及びコンクリート充填鋼製橋脚の基部の低サイクル疲労による損傷状況（平成5年度）について検討した。

3.4.2 実験装置

土木研究所の振動台の上に、図-3.12に示す2径間の橋梁模型を作り、中央の橋脚はボルトで振動台に固定し、両側の橋脚は振動台の外でボルトにより固定した。上部工は両外側の橋脚とはローラー支承で結ばれている。

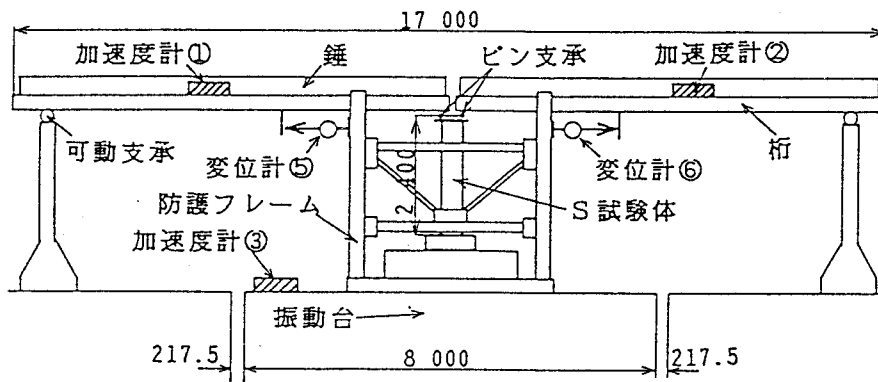


図 - 3.12 実験装置概要

3.4.3 供試体の形状

実橋の鋼製橋脚の脚柱に着目し、1/8の模型を作成した。表-3.21、図-3.13に供試体緒元を示す。

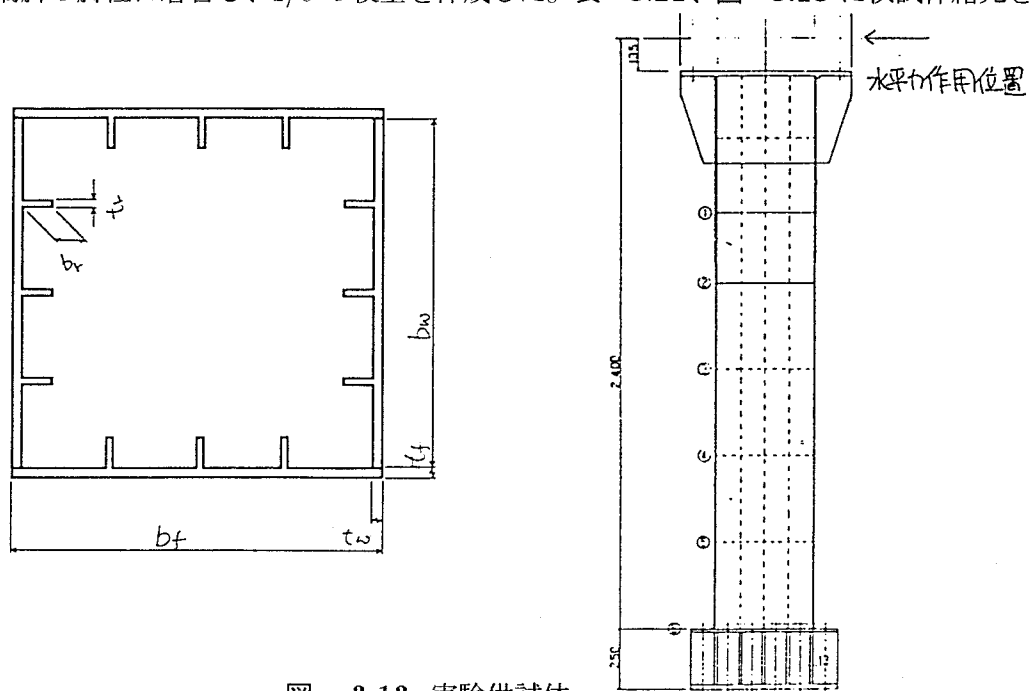


図 - 3.13 実験供試体

表 - 3.21 実験供試体諸元

(単位mm)

実験供試体諸元		昭和 62 年度	平成元年度		平成 5 年度
年度 - 供試体番号	単位	昭 62 - 1~3	平元 - 1	平元 - 2	平 5 - 1~2
材質	-	SS400	SS400	SS400	SM490
フランジ寸法 bf × tf	mm	400*4.5	320*4.5	320*4.5	341*4.5
ウェブ寸法 bw × tw	mm	400*4.5	320*4.5	320*4.5	350*4.5
リブ寸法 br × tr	mm	35*3.2	30*3.2	30*3.2	30*4.5
ダイヤフラム間隔	mm	340	260	260	300
基部 - 載荷点間隔	mm	2,400	2,400	2,400	2,400
充填コンクリート	-	無し	無し	有り	有り
充填高さ	mm	-	-	780	800
鋼材降伏応力度	kgf/cm	2,133	2,418	2,418	4,610
フランジウェブ幅厚比P	-	0.45	0.32	0.32	0.46
縦リブ幅厚比パラメータ	-	0.68	0.53	0.53	0.50
補剛材剛比	-	0.92	0.82	0.82	0.89
軸力比 (対公称)	%	20	13	13	20

3.4.4 入力地震動

振動台実験に用いた入力地震動を表 - 3.22 に示す。

表 - 3.22 振動台実験に用いた入力地震動

年度	昭和 62 年度	平成元年度	平成 5 年度																				
入力地震	1983 年日本海中部地震 八郎瀉記録 (図 3-1)	1983 年日本海中部地震 八郎瀉記録 (図 3-1)	道示 2 種地盤標準 波相当振動数領域 振幅調整地震波 (図 3-1)																				
時間軸	1/2	1/2																					
供試体 番号	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>3</td><td></td></tr> <tr><td>~</td><td>•</td><td>4</td></tr> <tr><td>4</td><td>4</td><td></td></tr> </table>	1	2	3	0.2	3		~	•	4	4	4		<table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>3.5</td></tr> <tr><td>•</td><td>•</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>4</td></tr> </table>	1	2	3.0	3.5	•	•	3.5	4	10 回繰返し入力
1	2	3																					
0.2	3																						
~	•	4																					
4	4																						
1	2																						
3.0	3.5																						
•	•																						
3.5	4																						
振動倍率 (倍)			最大加速度振幅 約 350gal																				

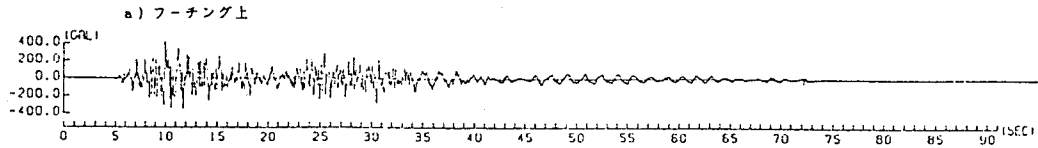


図 - 3.14 八郎瀉記録 4 倍入力 (最大応答加速度 432gal)

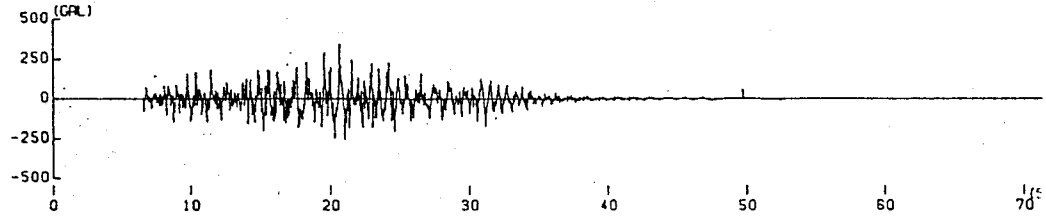


図 - 3.15 道示 2 種地盤標準波相当振幅調整地震波 (最大応答加速度 347gal)

3.4.5 考察

A -昭和 62 年度-

1. 供試体に八郎瀉 4 倍の地震波を入力した場合、橋脚が一方向に傾いてゆき、装置の変位制限 (20cm) に達する。(図 -3.14)
2. 10 回繰り返し強制載荷実験結果と比較すると、最大耐力が降伏時耐力の 1.8 倍に達していることは同じであるが、最大耐力に達するときの変位が大きくなっていることや最大耐力後の耐力低下が少なく、大きなじん性が得られていることがわかる。また橋脚が傾いた状態でも耐力は概ね降伏時耐力程度はあり、桁が連結されていれば落橋に到らないだけの耐力はあると考えられる。

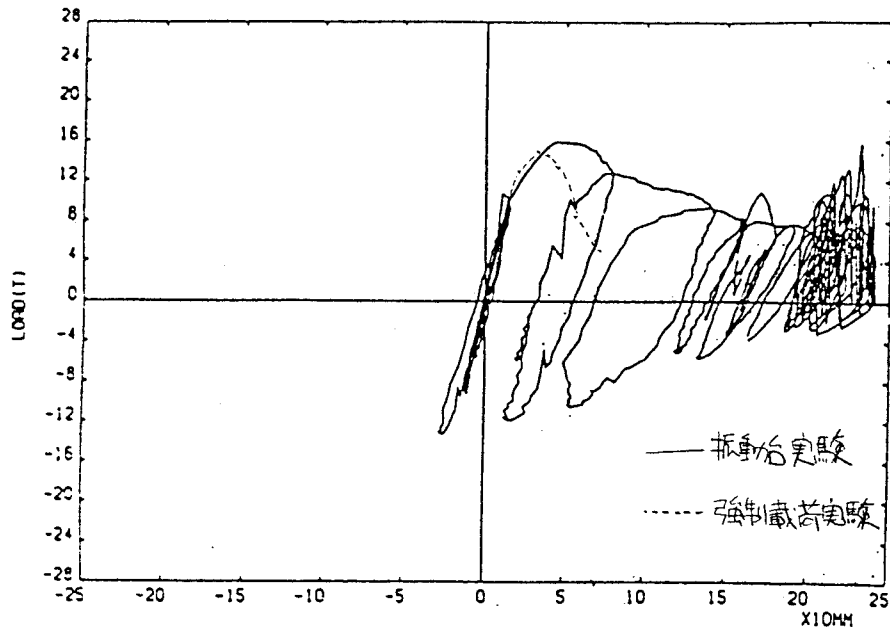


図 - 3.16 振動台実験と 10 回繰り返し強制載荷実験結果との比較

B -平成元年度-

1. 中埋めコンクリートを打設していない鋼製橋脚模型に3倍入力と3.5倍入力を行って行ったP~δ曲線（荷重Pは上部工反力に測定加速度を乗じて算出）（図-3.19）と、中埋めコンクリートを打設した鋼製橋脚模型に3.5倍入力と、4倍入力を行って行ったP~δ曲線（図-3.17）をみると、いずれの結果も大きな波を受けると変位が片側に進行しているが、小さな波では変位の進行がない。
2. 10回繰り返し強制載荷実験結果に比較し、振動台実験では耐力の低下が少ない。（図-3.18）

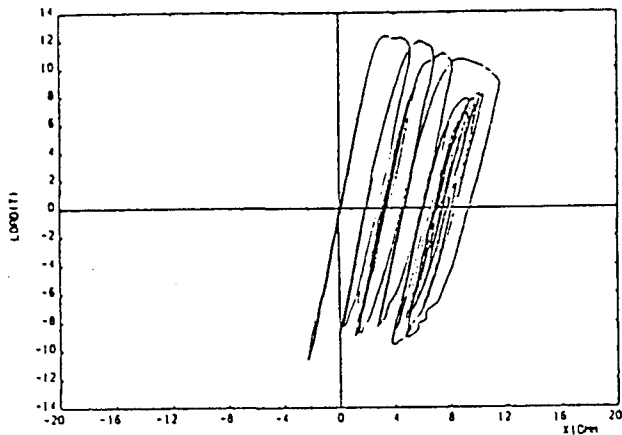


図-3.17 振動台実験結果（中埋コンクリート有）

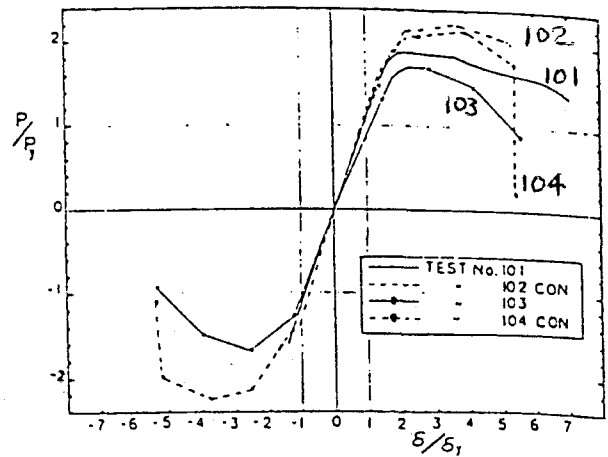


図-3.18 振動台実験結果と10回繰り返し強制載荷実験結果との比較

- | | |
|-----|--------------|
| 101 | 振動台実験 |
| 102 | 振動台実験（中埋C有） |
| 103 | 振動載荷実験 |
| 104 | 強制載荷実験（中埋C有） |

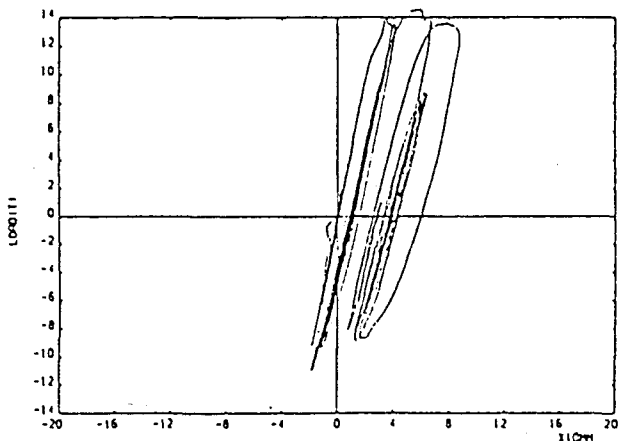


図-3.19 振動台実験結果（中埋コンクリート無）

C ー平成5年度ー

1. 補剛板には局部座屈は生じない。
2. 1シリーズ目のP～ δ 曲線（図-3.20）をみると、履歴曲線が重なり合った束が二つ有る。原点を中心とした束は、まだ大変形を受けていない中埋コンクリートのひび割れが少ない初期の応答である。右側の束は、一度大きい変形を受けコンクリートのひび割れが大きくなったため剛度の低下がみられるためである。また、2シリーズ目以降（図-3.21）は黒い束は一つであり7シリーズ目までは細くまとまっている。さらに、9シリーズ目（図-3.22）以降は履歴曲線の重なり度合いが少なくなっている。これは、疲労亀裂が8シリーズ以降に急激に進展しているからである。
3. 3シリーズ目終了時に、4つのコーナーのフランジの溶接端部に亀裂が発見された。7シリーズ終了時までには、この亀裂は板の中央方向に徐々に進展した。8シリーズ目以降は、加速度的に進展が早くなり、10シリーズ目終了時には、亀裂がフランジの全面をおおった。

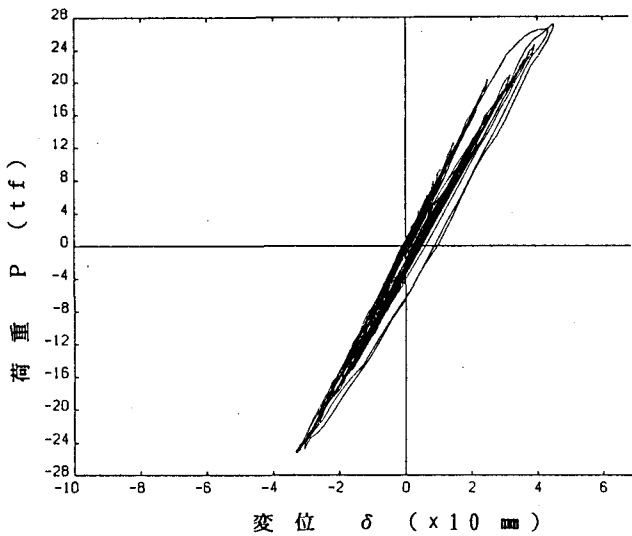


図-3.20 1シリーズ目のP～ δ 曲線

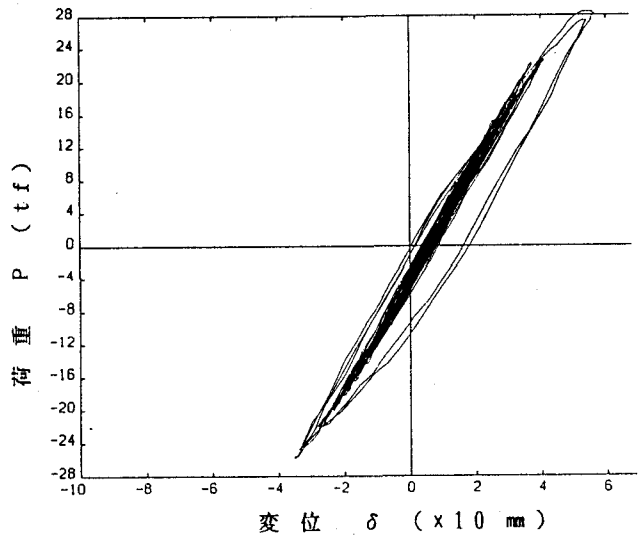


図-3.21 3シリーズ目のP～ δ 曲線

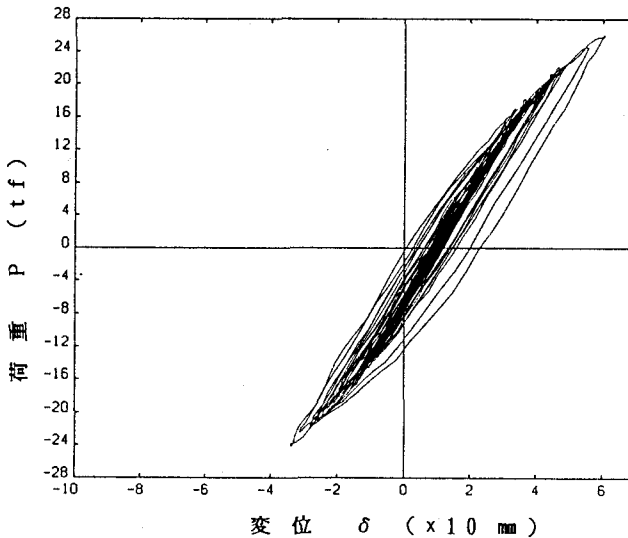


図-3.22 9シリーズ目のP～ δ 曲線

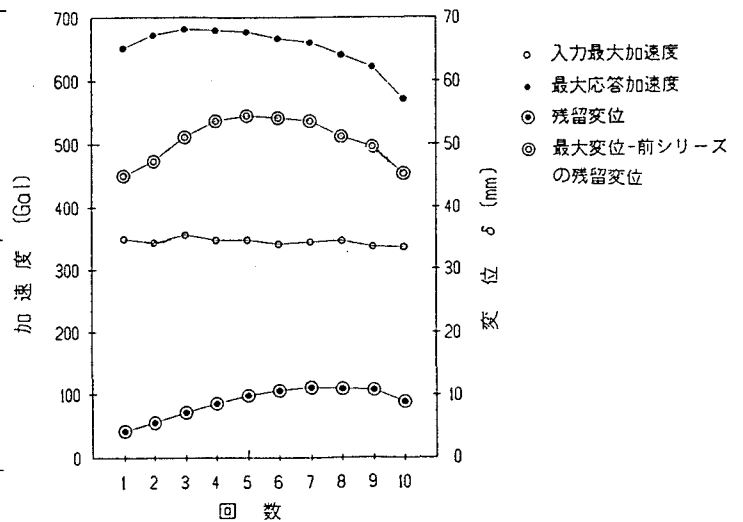
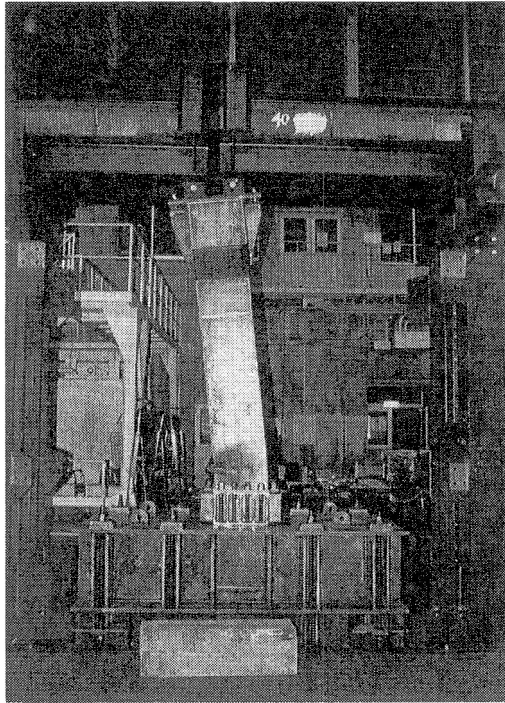


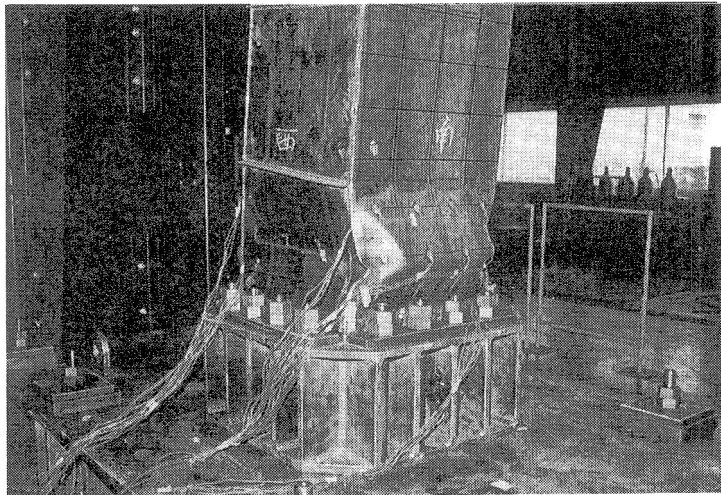
図-3.23 各シリーズ毎の加速度と変位



昭和 62 年度
実験装置概要
写真 - 3.1

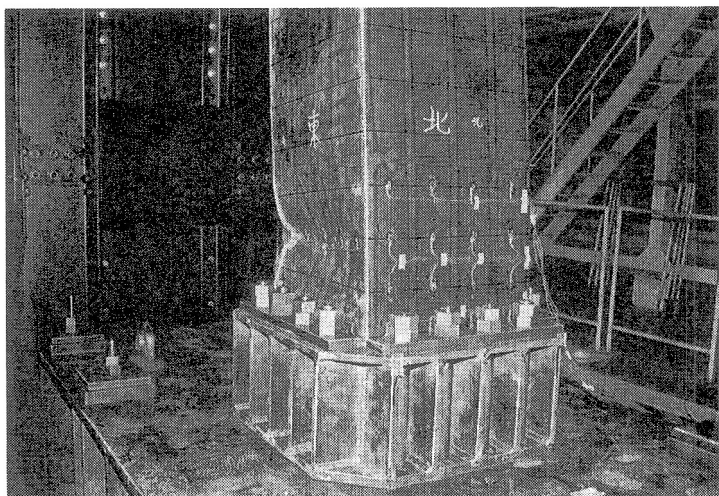
東 面 (反計測室側)

傾き 6.5 度



基部変形状況
写真 - 3.2

西 面 (計測室側) 南 面



基部変形状況
写真 - 3.3

東 面 (反計測室側) 北 面

参考文献

- 1) 宇佐美勉, 今井康幸, 青木徹彦, 伊藤義人: 繰り返し荷重を受ける鋼圧縮部材の強度と変形能に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol.37A, pp.121-134, 1991.
- 2) 宇佐美勉, 水谷慎吾, 青木徹彦, 伊藤義人, 安波博道: 補剛箱形断面鋼圧縮部材の繰り返し弾塑性挙動に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol.38A, pp.105-117, 1992.
- 3) 宇佐美勉, 坂野茂, 是津文章, 青木徹彦: 鋼製橋脚モデルの繰り返し弾塑性挙動におよぼす荷重履歴の影響, 構造工学論文集 Vol.39A, pp.235-247, 1993.
- 4) 鈴木森晶, 宇佐美勉, 竹本潔史: 鋼製橋脚モデルの静的および準静的挙動に関する実験的研究, 土木学会論文集 No.507/I-30, pp.99-108, 1995年1月.
- 5) Kawashima,K. Macrae,G.A. and Hasegawa,K: The Strength and Ductility of Steel Bridge Piers Based on Loading Test, *Journal of Reserch*, Public Works Reserch Institute, Vol.29, March, 1992.
- 6) 家村浩和, 中山裕章, 岡重洋, 前田英輝, 今村栄次: 高密度補剛による薄肉鋼構造部材の地震時変形性能の向上, 第9回日本地震工学シンポジウム,1994.
- 7) 渡邊英一, 杉浦邦征, 宇都宮智昭, 北根安雄, 南荘淳: 強度と変形能を考慮した鋼製箱形橋脚の合理的断面設計, 第9回日本地震工学シンポジウム,1994.
- 8) 富永知徳, 安波博道: 厚肉少補剛断面を有する鋼製橋脚の変形能に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol.40A, pp.189-200, 1994.
- 9) 土木学会鋼構造委員会・鋼構造動的極限性状研究小委員会: 鋼構造物の弾塑性性状と耐震設計法, 1993年8月.
- 10) 宇佐美勉: 鋼平面ラーメン構造物の極限強度評価式の実験データによる検証, 構造工学論文集 Vol.36A, pp.79-88, 1990.
- 11) Nakajima,M. : Variation of Ductility Capacity of Steel Beam-Columns, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol.120, No.7, pp.1941-1960, July,1994.
- 12) 鈴木森晶, 宇佐美勉, : 軸圧縮力と横力を受ける箱形断面柱の強度と変形能に関する解析的研究, 構造工学論文集 Vol.41A, pp.265-276, 1995.
- 13) 葛 漢彬, 宇佐美 勉, 寺田昌弘: コンクリートを充填した鋼製箱形短柱の圧縮耐荷力に関する実験的および理論的研究, 構造工学論文集, Vol.38A, 1992, pp.119-132.
- 14) 宇佐美 勉, 葛 漢彬, 水谷慎吾: コンクリートを部分的に充填した無補剛箱形鋼柱の繰り返し弾塑性挙動, 構造工学論文集, Vol.39A, 1993, pp.249-262.
- 15) 葛 漢彬, 宇佐美 勉, 戸谷和彦: 繰り返し荷重を受けるコンクリート充填鋼柱の強度と変形能に関する研究, 構造工学論文集, Vol.40A, 1994, pp.163-176.
- 16) 葛 漢彬, 宇佐美 勉: コンクリートを部分的に充填した鋼箱形断面柱の終局強度と変形能に関する解析的研究, 土木学会論文集, 第513号/I-31, pp.77-88, 1995.4.

- 17) 中井 博, 北田俊行, 吉川 紀, 中西克佳, 尾山達巳: コンクリートを充填した長方形箱形断面柱の耐力と変形性能に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.39A, pp.1347-1360, 1993年3月.
- 18) 中井 博, 北田俊行, 中西克佳, 杉山 功, 河野康史: 地震荷重を受けた後の合成柱(充填形式)の耐力, 構造工学論文集, Vol.40A, pp.1401-1412, 1994年3月.
- 19) 阪神高速道路公団: 鋼製橋脚の地震時保有水平耐力に関する調査研究業務(その2)報告書, 1994年3月.
- 20) 土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会: 鋼構造物の新技術に関する調査研究報告書(I. 耐震設計に関する研究)・同資料集, 1993年3月.
- 21) 土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会: 鋼構造物の新技術に関する調査研究報告書(I. 耐震設計に関する研究)・同資料集, 1994年3月.
- 22) 家村浩和: ハイブリッド実験の発展と将来, 土木工学論文集, 第356号/I-3, 1985.4.
- 23) 才塚邦宏, 伊藤義人, 木曾英滋, 宇佐美 勉: 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, 第507号/I-30, pp.179-190, 1995.1.
- 24) 才塚邦宏, 木曾英滋, 宇佐美 勉, 伊藤義人: コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚のハイブリッド地震応答実験, 構造工学論文集, Vol.41A, 1995.
- 25) 宇佐美 勉, 才塚邦宏, 木曾英滋, 伊藤義人: ハイブリッド地震応答実験による鋼製橋脚の強震時挙動, 土木学会論文集, 第519号/I-32, pp.101-113, 1995.7.
- 26) 鈴木 俊光, 宇佐美 勉, 伊藤 義人, 豊島 径: 細長比パラメータの大きなコンクリート部分充填鋼柱の強震時挙動, 土木学会論文集, 第537号/I-35, pp.77-88, 1996.4.
- 27) 宇佐美 勉, 鈴木俊光, 伊藤義人: 実橋脚をモデル化した基部を有するコンクリート充填鋼柱のハイブリッド地震応答実験, 土木学会論文集 へ投稿中.
- 28) 才塚 邦宏, 宇佐美 勉, 芳崎 一也, 鈴木森晶: 兵庫県南部地震観測地震波を用いたハイブリッド地震応答実験による鋼製橋脚の激震時挙動, 土木学会論文集 へ投稿中.
- 29) 加藤 勉, 秋山 宏, 北沢 進: 局部座屈を伴う箱形断面部材の変形, 日本建築学会論文報告集 第268号, pp.71-76, 1977.
- 30) 井上哲郎: 低降伏比高張力鋼箱形断面梁およびビームコラムの終局耐力と変形能力, 構造工学論文集 Vol.38B, pp.431-441, 1992.
- 31) 鈴木 森晶, 宇佐美 勉: 繰り返し荷重下における鋼製橋脚モデルの強度と変形能の推定式に関する研究, 土木学会論文集, 第519号/I-32, pp.115-125, 1995.7.
- 32) 宇佐美 勉, 鈴木 森晶, Iraj H.P. Mamaghani, 葛 漢彬: コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力照査法の提案, 土木学会論文集, 第525号/I-33, pp.69-82, 1995.10.
- 33) 伊藤 学, 亀田弘行 訳: 土木・建築のための 確率・統計の基礎, 丸善, 1977.

3.5 橋脚アンカー部

3.5.1 まえがき

橋脚の地震時終局挙動は鋼製橋脚躯体のみならずアンカー部の終局挙動にも支配される。事実、阪神・淡路大震災においても、アンカー部の塑性変形により橋脚が終局状態に至った例も認められた。したがって、地震時保有水平耐力照査や非線形動的応答解析に基づく橋脚の合理的な耐震設計法を確立するためには、橋脚躯体のみならずアンカー部の終局挙動も考慮する必要がある。しかしながら、橋脚躯体に比べ、その終局挙動に関する詳細な情報はほとんど得られていないのが現状である。^{1, 2)}ここでは、まず、現行のアンカー部の構造と設計法をレビューする。つぎに、阪神・淡路大震災でのアンカー部の被害について述べる。さらに、名古屋工業大学で進行中のアンカー部の繰り返し載荷実験と終局挙動のモデル化に関する研究^{3~8)}において今までに得られた結果を紹介する。最後に、これらの研究成果をもとにアンカー部の終局挙動を考慮した地震時保有水平耐力の照査法について説明する。なお、本文は文献 8), 9)に加筆してまとめたものである。

3.5.2 アンカー部の構造と現行設計法

現行の鋼製橋脚のアンカー部として用いられる構造は図-3.5.1 に示す杭方式¹⁰⁾と鉄筋コンクリート方式¹²⁾にわけることができる。

杭方式の場合、コンクリートフーチング内に上下2つのアンカービームが埋め込まれている。脚ベース部の引張り力はアンカーボルトを介して下アンカービームに伝達される。一方、圧縮力は、フーチングコンクリートがベースプレートからの支圧力に抵抗しないものと仮定しているため、すべてアンカーボルトにより上アンカービームに伝達される構造として設計されている。しかしながら、ベースプレート下にモルタルが充填されている場合、実際にはベースプレートからの支圧によっても圧縮力がフーチングに伝達される。

鉄筋コンクリート方式では、引張り力は杭方式と同様、アンカーボルトにより下アンカービームに伝達される構造である。一方、圧縮力については、設計では上アンカービームがない

として、鋼製橋脚のベースプレートからすべて支圧によりフーチングコンクリートに伝達されるものと考えている。この構造の場合にも、仮設用の簡易な上アンカービームがあったり、上下ベースプレート間にモルタル

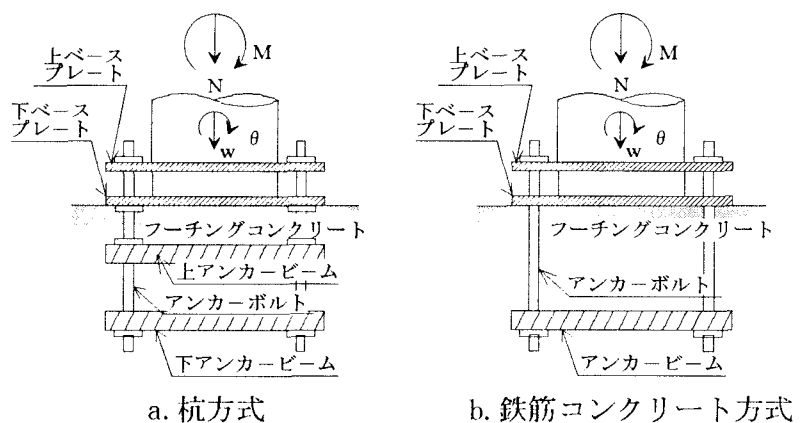


図-3.5.1 定着方式

が充填されることからアンカーボルトのねじ部が橋脚ベース部に固定されている。以上から、ベースプレートからの圧縮力の一部はアンカーボルトにも直接伝達されるものと考えられる。

アンカー部の設計は大別して、ベースプレート、アンカーボルト、アンカービーム、フーチングコンクリートの4つの部分に分けることができる。

現行の基準では、ベースプレートやアンカービームは、設計において内部に剛性保持や防錆のために充填されるモルタルの効果が無視されているため、一般に設計荷重に対して余裕のある耐力・剛性を有している。また、フーチングコンクリートもアンカービームから縁端までの距離が少ない場合を除いて、アンカービームの引き抜きに対して比較的十分な耐力があることが著者らの実験により確認されている。以上から、アンカー部の終局挙動は、主として、アンカーボルトとベースプレート下のフーチングの挙動に支配されるものと考えられ、ここでは、アンカーボルトならびにベースプレート下のフーチングコンクリートの現行設計法について述べる。

アンカーボルト軸力、ベース下モルタルの支圧応力の算定法としては、いずれの場合も梁の仮定（平面保持、直角保持の仮定）を基本としている。杭方式ではベース下コンクリートを無視して、アンカーボルトの引張り圧縮剛性を考慮している。また、鉄筋コンクリート方式ではベース下コンクリートの圧縮剛性とアンカーボルトの引張り剛性を考慮している。この結果得られる応力分布は、いずれもベース部の塑性化が許されていないため図-3.5.2 のようになる。さらに、アンカー部に作用するせん断力は各アンカーボルトに均等に分担されるものと考えられている。

現行の震度法¹³⁾では、設計荷重に対して上記手法により算定されるアンカーボルト応力ならびに支圧応力が1.5倍に割増された許容応力に対して照査される。

3.5.3 阪神・淡路大震災でのアンカー部の被害

外部から見る事ができる鋼製橋脚躯体に比べ、アンカー部

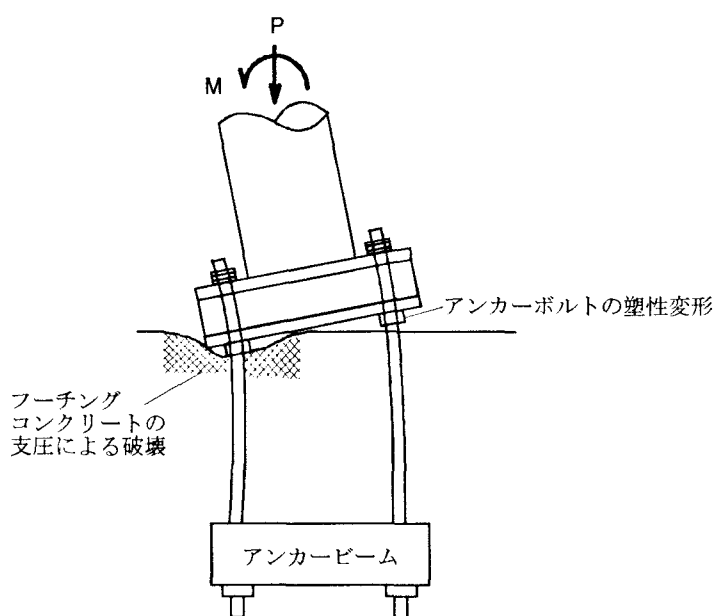
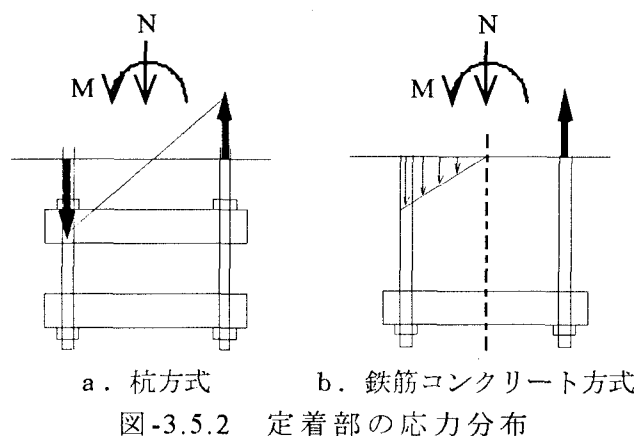


図 3.5.3 地震による鋼製橋脚の損傷例

の調査においては、掘削しコンクリートを除去する必要があるため、その被害に関する情報は不足している。ここでは、1例として、阪神高速神戸線の鋼製橋脚神P-352の被害を紹介する。これは、片側の梁が極端に長い、非対称なT型の矩形鋼製橋脚でアンカー部は鉄筋コンクリート方式となっている。(写真-1)アンカー部の被害としては、写真-2に示すように、橋脚の南側ならびに北側の列のアンカーボルトの塑性変形による伸びである。結果として、橋脚は南側(海側)に傾斜している。橋脚の南北両縁のアンカーボルト列の伸びは設計荷重を大きく上回る南北方向の両振りの地震荷重が作用したことによると考えられる。このような大きな地震力が作用したことにより、ベースプレート下のフーチングコンクリートも図-3.5.3のように支圧力で損傷を受けている可能性があるが、外部からは見えないため確認できなかった。橋脚躯体はアンカーボルトが伸びたことにより、地震入力が増加し被害を受けていない。この橋脚と対照的なのは隣の橋脚神P-353である。両橋脚ともほぼ同じプロポーションを持っているが、神P-353では南側のウェブパネル全体が中詰めコンクリートの上で局部座屈している。(写真-3)この局部座屈により地震入力エネルギーが吸収され、神P-353のアンカー部は被害を受けていない。現行のアンカー部の設計で考慮されている安全率、設計荷重は鋼脚躯体と同じものであり、設計思想的にはいずれの耐力にも優劣がつけられていない。したがって、上述した被害例からも分かるように、現行の基準で設計された橋脚は橋脚躯体、アンカー部どちらが先に終局状態に到達するのか明らかでない。

3.5.4 アンカー部の終局挙動とモデル化

鋼製橋脚の定着部としてとして主に用いられている杭方式、鉄筋コンクリート

表-3.5.1 モデル化における仮定

	杭モデル	複鉄筋モデル	単鉄筋モデル
ベースプレート	<ul style="list-style-type: none"> 剛体 ベースプレート中心は水平には変位しない 	<ul style="list-style-type: none"> 剛体 ベースプレート中心は水平には変位しない 	<ul style="list-style-type: none"> 剛体 ベースプレート中心は水平には変位しない
アンカービーム	<ul style="list-style-type: none"> 剛体 変位しない 	<ul style="list-style-type: none"> 剛体 変位しない 	<ul style="list-style-type: none"> 剛体 変位しない
アンカーボルト	<ul style="list-style-type: none"> 軸力のみ伝達する一軸要素 圧縮力、引張力に抵抗 	<ul style="list-style-type: none"> 軸力のみ伝達する一軸要素 圧縮力、引張力に抵抗 	<ul style="list-style-type: none"> 軸力のみ伝達する一軸要素 引張力のみ抵抗
下ベースプレートからコンクリートフーチングへの支圧	<ul style="list-style-type: none"> 考慮しない 	<ul style="list-style-type: none"> 考慮する フーチングは圧縮力のみ抵抗する一軸要素 	<ul style="list-style-type: none"> 考慮する フーチングは圧縮力のみ抵抗する一軸要素



写真 - 1 神P-352の傾斜

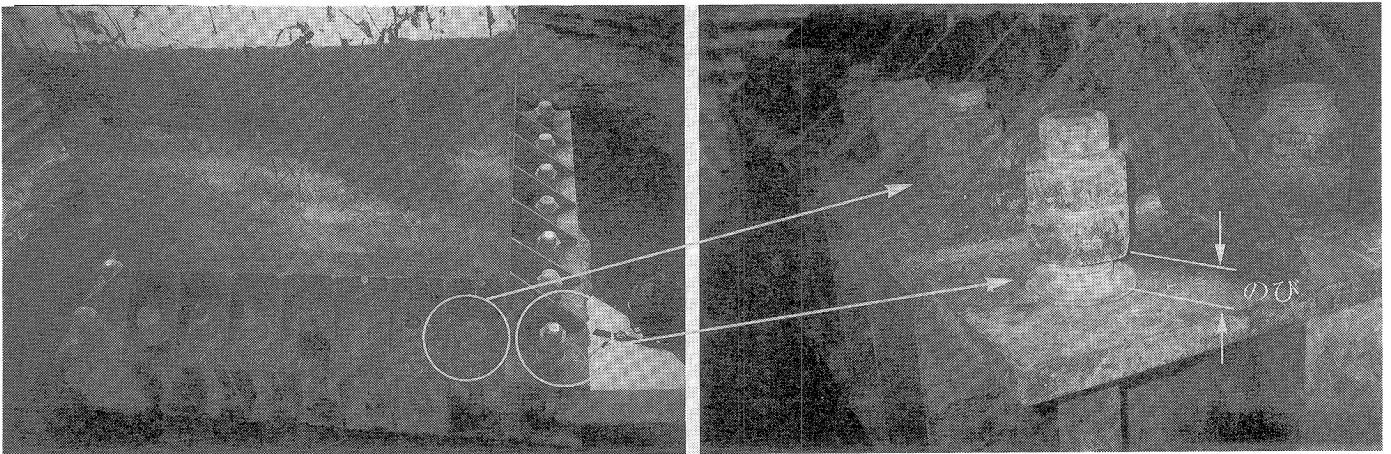


写真 - 2 神P-352のアンカーボルトの塑性変形

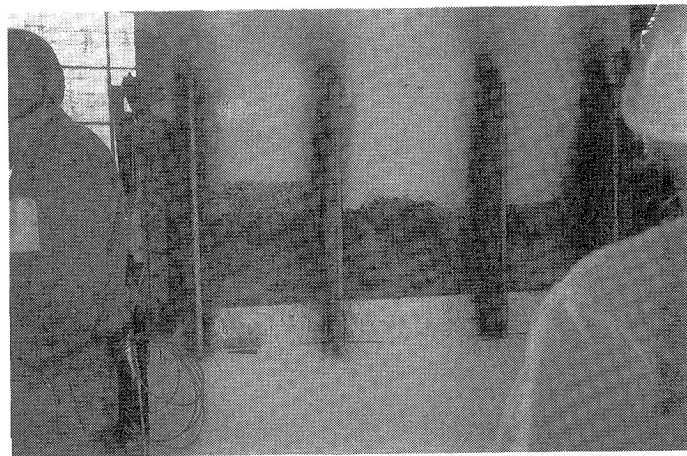


写真 - 3 神P-353の鋼脚ウェブパネルの局部座屈

方式による定着部を対象に単調載荷ならびに繰り返し載荷実験^{3, 5, 6, 8)}を実施し、終局挙動とそのモデル化を検討しているが、現在までに得られた結果について説明する。

(1) モデル化⁸⁾

ここでは、設計上の仮定の他に 3.5.2 で述べた実状も考慮して定着部のモデル化について検討する。なお、著者らの過去の実験によると、フーチング縁端までのアンカービームの距離が少ない場合を除いて、アンカービーム耐力は十分な場合が多く、また、鋼脚柱の上下ベースプレートの耐力、剛性も十分と考えられる。したがって、アンカービーム、上下ベースプレートは剛体と仮定し、主としてアンカーボルト、ならびにフーチングコンクリートの材料非線形挙動を定着部のモデル化において考慮する。

提示する定着部モデルは杭モデル、複鉄筋モデル、単鉄筋モデルの3種類である。このうち杭モデル、単鉄筋モデルはそれぞれ杭方式と単鉄筋方式の設計モデルと基本的には一致している。複鉄筋モデルは 3.5.2 で述べた杭方式の定着部の下ベースプレートからのコンクリートフーチングへの支圧もモデル化において考慮している。定着部の各モデル化における仮定を表-3.5.1 に、対応するモデルを図 3.5.4 にまとめて示す。図に示すアンカーボルトの有効長はフーチングコンクリートとアンカーボルト間に付着がない場合の有効長で、アンカーボルトの固定端間距離に対

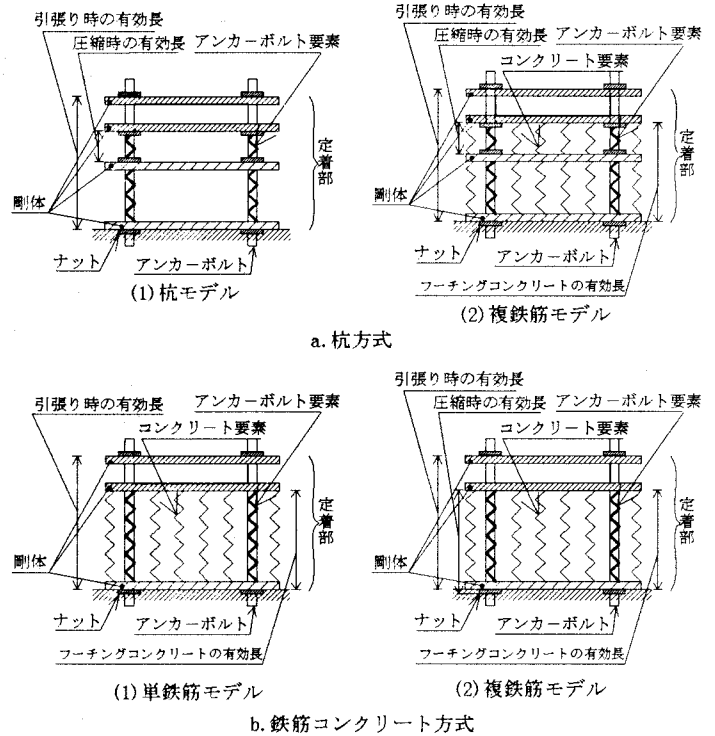


図 3.5.4 力学モデル

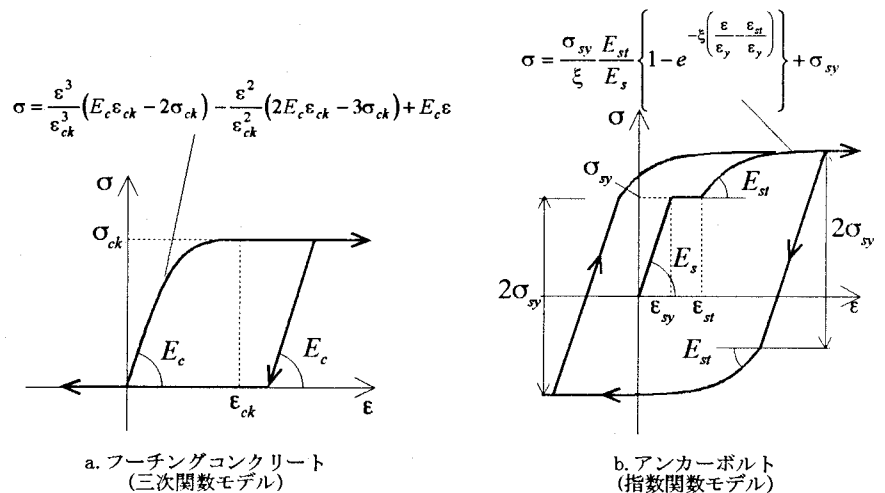


図 3.5.5 材料の応力-ひずみ関係

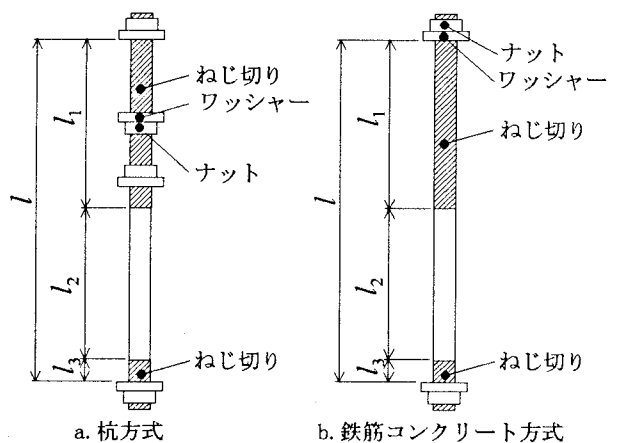


図 3.5.6 アンカーボルト

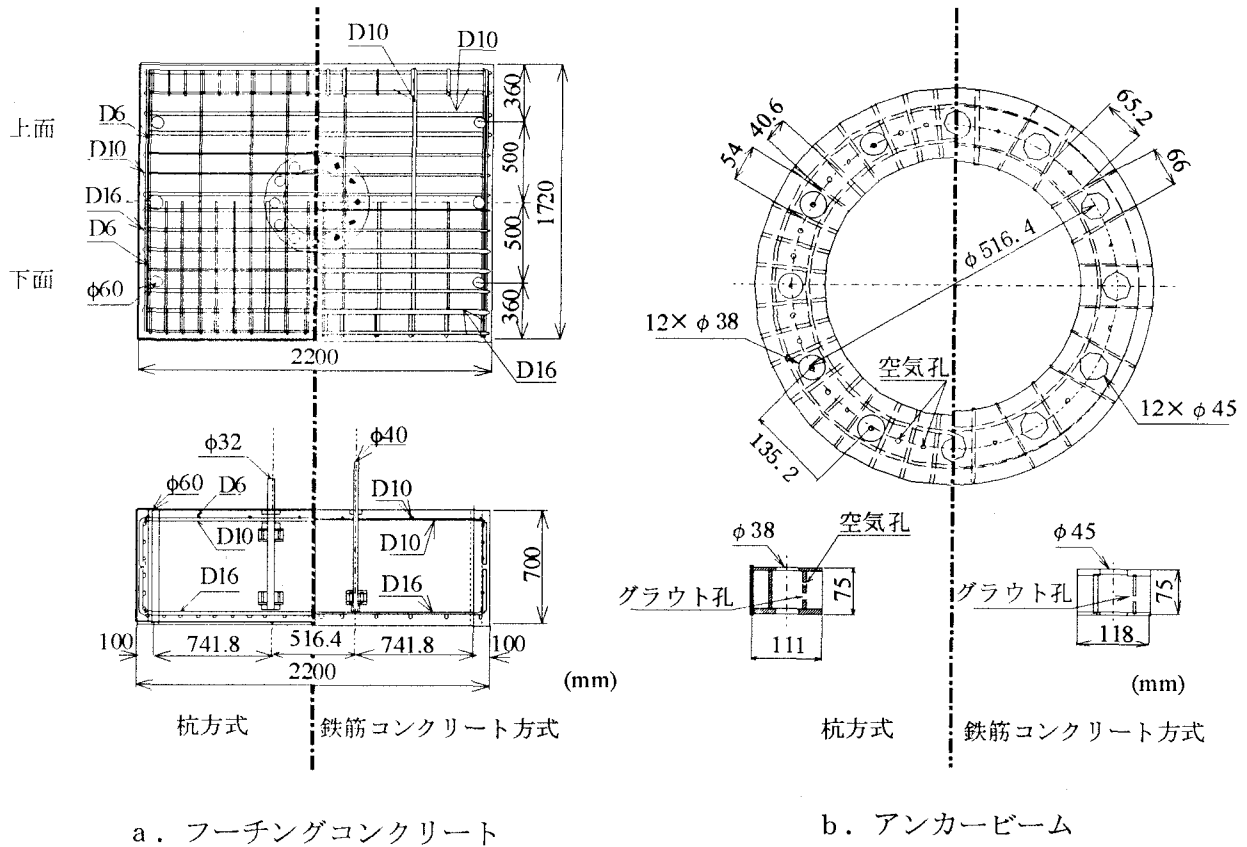


図 3.5.7 供試体形状

応している。この場合、杭方式ではアンカーボルトの引張に対しては下アンカービームで、圧縮に対しては上アンカービームで固定されるため、アンカーボルトの有効長は圧縮と引張に応じて異なっている。また、鉄筋コンクリート方式に用いる複鉄筋モデルにおいても、アンカーボルト有効長は圧縮、引張りにより異なっている。すなわち、圧縮力は上下ベースプレート間の付着でアンカーボルトに伝達され、フーチングへの伝達は、アンカーボルト平行部の付着を無視すると、アンカーボルト先端部のナット取り付け部から支圧でなされる。これより圧縮時の有効長は下ベースプレートと先端部ナット取り付け部の間、引張時の有効長は上ベースプレートとアンカービーム間のそれぞれの長さが対応する。

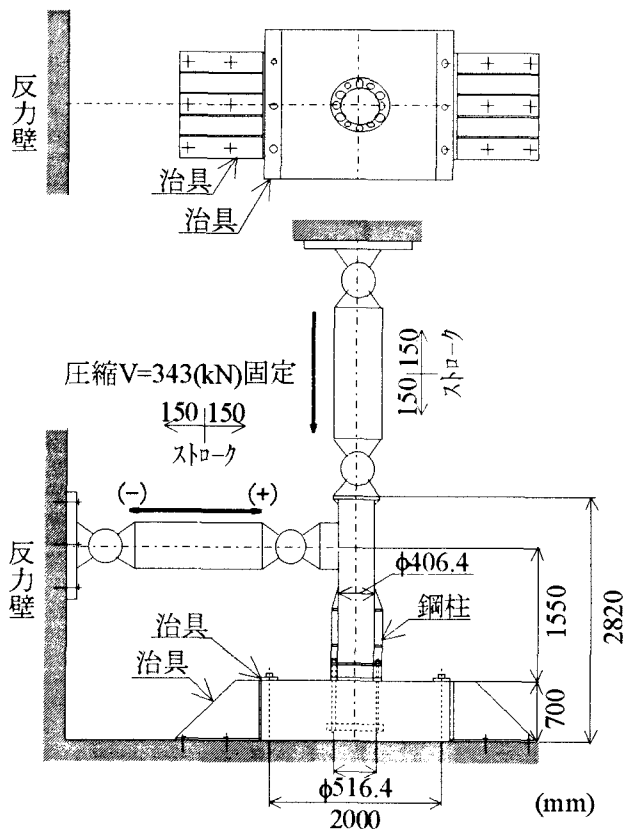


図 3.5.8 荷荷方法

アンカーボルトとフーチングコンクリートの一軸応力-ひずみ関係はそれぞれ図 3.5.5 に示す指数関数モデル¹⁴⁾と三次関数モデルを用いる。ここでは、保有水平耐力の照査では初期降伏後の挙動も正確に把握する必要があるため、材料試験の結果をより正確に表現できるように配慮している。アンカーボルトの構成則である指数関数モデルでは、累積塑性ひずみが単調載荷時のひずみ硬化開始時のひずみを越えると降伏棚が消滅するものとした。なお、アンカーボルトは図 3.5.6 のように、定着用ナットのためねじ切りがしてあり、断面積は一様ではない。したがって、アンカーボルトのモデル化において断面積の変化を考慮している。

(2) 単調載荷条件下の挙動

載荷実験では、実構造の約 1/5 の縮尺率を持つ図 3.5.7 に示す円形断面鋼製橋脚定着部を対象に、これに一定軸力を載荷し、定着部の相対回転角を変位制御で単調に増加させる。(図 3.5.8) なお、杭方式の定着部では鉄筋コンクリート方式と異なり、設計でコンクリートフーチングの支圧に期待しないので、ベース下モルタルが必ずしも十分に充填されないこともある。しかしながら、本供試体では、支持条件を明確にすることと、モルタルの充填により強度・剛性の上昇が期待されることから、鉄筋コンクリート方式と同様、ベース下に無収縮モルタルが充填してある。

a) 杭方式

はじめに、杭方式の定着部モデルとして提示した杭モデルと複鉄筋モデルを実験と比較する。

解析結果と実験結果を、設計上重要な次の 2 項目について比較を行う。一つは、鋼製橋脚の変形能を評価する上で重要な定着部モーメントと定着部の相対回転角の関係 ($M-\theta$ 関係) であり、いま一つは、アンカーボルトの限界状態の照査で重要なアンカーボルト軸力の分布である。2 種類の定着部モデルにより算定された $M-\theta$ 関係を図 3.5.9 に、また定着部モーメントの増加によるアンカーボルト軸力の分布の変化を図 3.5.10 にそれぞれ実験結果と比較して示している。定着モデルに用いる図 3.5.5 の材料構成則の定数は、アンカーボルト鋼材の引張試験、フーチングコンクリートの標準圧縮試験から決定した表 3.5.2 に示すものを用いる。

図 3.5.9 より複鉄筋モデルの $M-\theta$ 関係は実験値とよく一致しているが、杭モデルは定着部の強度、剛性をかなり低めに評価していることがわかる。なお、実験値の $M-\theta$ 関係は $\theta=0.06$ rad 近傍で定着部モーメントが急激に低下するが、これはひずみゲージを貼り付けるために切削した平坦部からアンカーボルトが破断したためである。通常の場合は材料の引張試験から判断して、さらに変形しうるものと考えられる。なお、参考までに、アンカーボルト破断時までのフーチングのひび割れ進展状況を図 3.5.11 に示すが、このときまでにアンカーボルト引き抜きによるフーチングのせん断破壊は生じていない。

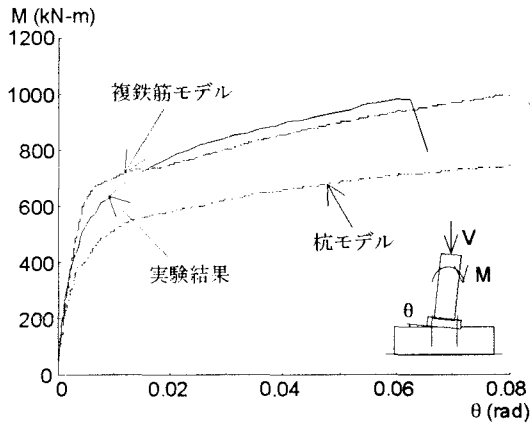


図 3.5.9 定着部の M-θ 関係 (杭方式)

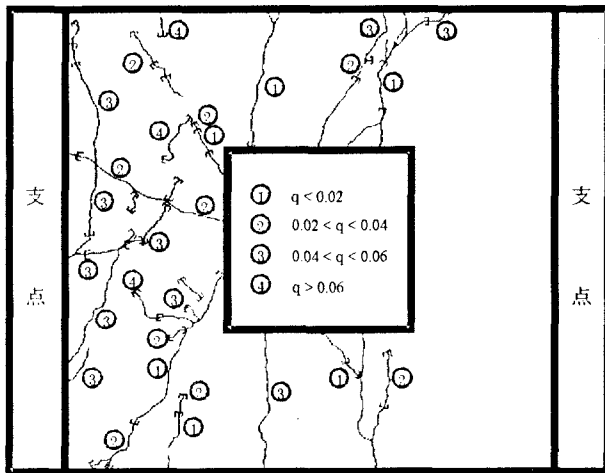
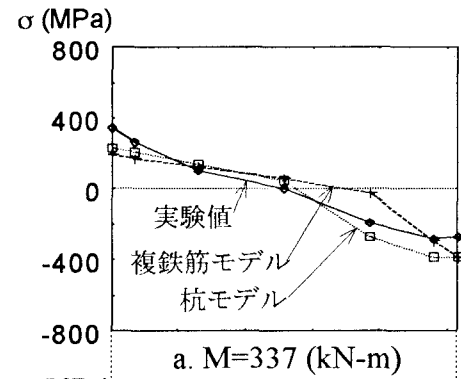
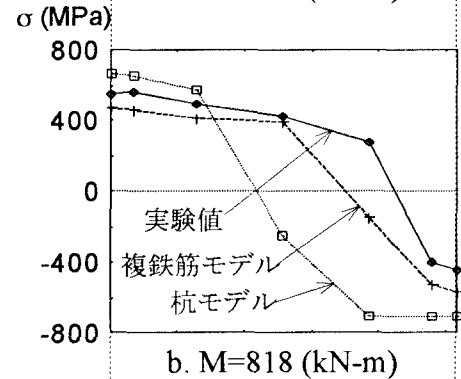


図 3.5.11 ひび割れ状況 (杭方式)



a. M=337 (kN-m)



b. M=818 (kN-m)

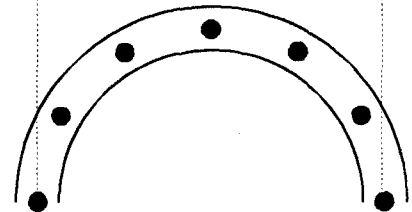


図 3.5.10 アンカーボルトの軸力分布 (杭方式)

表 3.5.2 各材料構成則での材料定数

定着部	杭方式	鉄筋コンクリート方式
アンカーボルト	指数関数モデル $E_s = 2.071 \times 10^5 (MPa)$ $\sigma_{sy} = 387.3 (MPa)$ $\epsilon_{sy} = 1870 (\mu)$ $E_s/E_{st} = 17$ $\epsilon_{st}/\epsilon_{sy} = 4$ $\xi = 0.07$ (S45C)	指数関数モデル $E_s = 2.131 \times 10^5 (MPa)$ $\sigma_{sy} = 324.4 (MPa)$ $\epsilon_{sy} = 1522 (\mu)$ $E_s/E_{st} = 30$ $\epsilon_{st}/\epsilon_{sy} = 9.5$ $\xi = 0.06$ (S35C)
フーチングコンクリート	三次関数モデル $E_c = 2.548 \times 10^4 (MPa)$ $\sigma_{ck} = 20.87 (MPa)$ $\epsilon_{ck} = 2000 (\mu)$	三次関数モデル $E_c = 2.158 \times 10^4 (MPa)$ $\sigma_{ck} = 20.03 (MPa)$ $\epsilon_{ck} = 2000 (\mu)$

図 3.5.10 のアンカーボルトの軸力分布についても、全般的に複鉄筋モデルの方が杭方式に比べ実験値によく一致している。特に最大軸力が生ずる縁端部のアンカーボルト軸力は正確に算定されている。以上の検討結果から、実際の杭方式の定着部の終局時を含めた全般的な挙動を表現するモデルとしては、複鉄筋モデルが適しているといえる。また、杭モデルについては M- θ 関係の強度・剛性を低めに見積もり、アンカーボルトの作用軸力を高めに評価するので、安全側の定着部モデルということができる。

b) 鉄筋コンクリート方式

鉄筋コンクリート方式では、定着モデルとして提示した単鉄筋モデルと複鉄筋モデルについて検討する。

定着部モデルによる解析結果は杭方式と同様、定着部の M- θ 関係とアンカーボルトの軸力分布に関して、実験結果と比較して図 3.5.12, 3.5.13 にそれぞれに示している。定着部モデルにおける材料定数を表 3.5.2 に示す。

図 3.5.12, 3.5.13 から、M- θ 関係、アンカーボルト軸力いずれも複鉄筋モデルが実験結果により近い結果を示していることがわかる。ただ、M- θ 関係では $\theta=0.03$ rad 近傍から相対回転角の増加に対して荷重が急激に低下しており、複鉄筋モデルとも大きな差が生じている。これは図 3.5.14 に示すひび割れの進展状況からわかるようにフーチングがアンカービームの引き抜きによりせん断破壊したもので、定着部モデルでは考慮していない破壊モードが発生したためである。

図 3.5.13 アンカーボルトの軸力分布をみると、設計上の杭方式のようにベースプレートからの圧縮力が直接アンカーボルトへ伝達される構造になっていないものの、実験ではかなりの圧縮力がアンカーボルトへ伝達され、その値はほぼ複鉄筋モデルで算定されるものに近いことは注目される。これは、上下ベースプレート間にグラウトされたモルタルとアンカーボルトのねじ部の付着でベースプレートからの圧縮力がアンカーボルトに伝達されることによると考えられる。

以上から、鉄筋コンクリート方式の定着部においても、このように上下ベースプレート間に剛性保持のためモルタルがグラウトされる場合には、複鉄筋モデルによる扱いがより実状に近い結果となる。ただ付着によるアンカーボルトへの圧縮力の伝達は確実性のある伝達方法ではなく、モルタルのグラウト不足や繰り返し载荷により付着が切れ、複鉄筋モデルの仮定が成立しなくなる可能性もある。この場合は、単鉄筋モデルの結果に近づくものと考えられる。単鉄筋モデルは M- θ 関係の強度・剛性を低めに見積もり、引張側のアンカーボルト軸力を高めに評価するので、これらについては安全側となるが、圧縮側のアンカーボルト軸力については零と評価するので危険側となる。

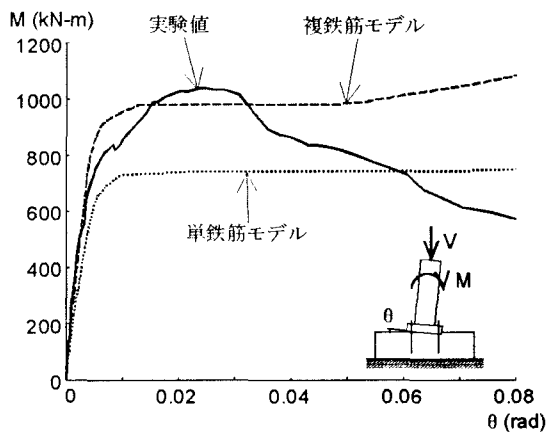


図 3.5.12 定着部の M-θ 関係
(鉄筋コンクリート方式)

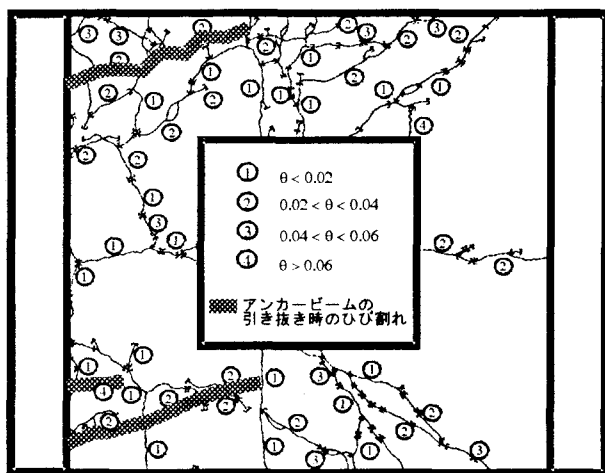


図 3.5.14 ひび割れ状況
(鉄筋コンクリート方式)

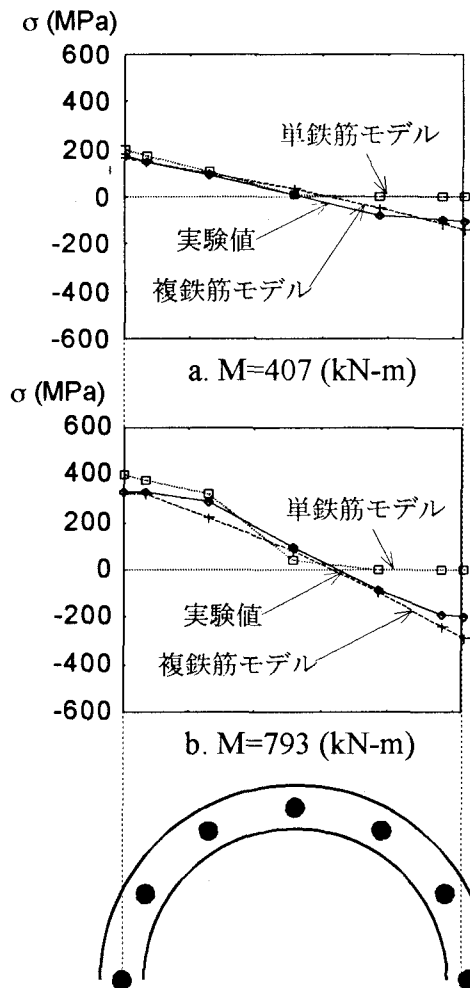


図 3.5.13 アンカーボルトの軸力分布
(鉄筋コンクリート方式)

(3) 繰り返し荷重下の挙動

単調荷重実験と同じ材料、諸元の供試体を用い、繰り返し荷重実験を実施した。荷重の方法としては、鉛直荷重を設計荷重 (343 kN) に固定し、繰り返し水平力を ECCS の基準に従い荷重した。すなわち、単調荷重試験をもとに図 3.5.15 で定義される降伏変位相当の基準変位量を δ_y を用いて繰り返し荷重の振幅を決定する。

荷重方法はまず軸力を所定の値(343kN)まで増加させる。その後

- 1) $-\delta_y/4 \leftrightarrow +\delta_y/4$ の振幅で 1 回繰り返し。
- 2) $-\delta_y/3 \leftrightarrow +\delta_y/3$ の振幅で 1 回繰り返し。
- 3) $-\delta_y/2 \leftrightarrow +\delta_y/2$ の振幅で 1 回繰り返し。
- 4) $-\delta_y \leftrightarrow +\delta_y$ の振幅で 1 回繰り返し。
- 5) $-n\delta_y \leftrightarrow +n\delta_y$ の振幅で 3 回繰り返し。 ($n=1, 2, \dots$)

という具合に振幅を変位制御で漸増させ破壊するまで荷重を続ける。

繰り返し荷重で得られた定着部の M-θ 関係のヒステリシスループを杭方式、鉄筋コンクリート方式について図 3.5.16 に示す。また、図 3.5.17 には単調荷重条件下の M-θ 関係と図 3.5.16 より求められた M-θ 関係の各振幅第 3 サイクル目の包絡

線を示している。図 3.5.16 より杭方式、鉄筋コンクリート方式とも、定着部の変形が大きくなると、アンカーボルトの残留塑性変形により、いずれもスリップ型の復元力特性を示すようになり、鉄筋コンクリート脚と類似の挙動を示す。図 3.5.17 をもとに各方式による定着部の繰返し載荷時の挙動と単調載荷時の挙動とを比べると、いずれも繰返しにより最大耐力が 2～3 割低下するが、杭方式による方がやや低下率大きい。このような繰返しによる劣化のメカニズムを実験結果をもとに説明する。まず杭方式については、図 3.5.18 に示すように、繰返し載荷ではフーチングのひび割れは単調載荷に比べ脚基部周辺に多く発生し、特にベース下モルタル及びフーチングの圧壊により最大耐力が決定される。最大耐力到達後の荷重の低下はゆるやかである。鉄筋コンクリート方式では、繰返し載荷と単調載荷により破壊のメカニズムがかなり異なっている。

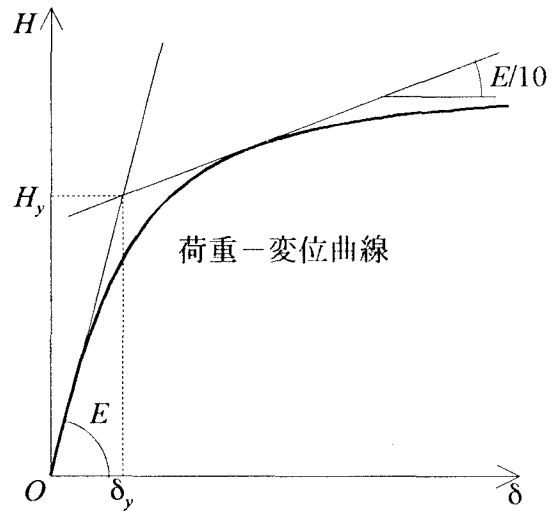


図3.5.15 ECCSによる δ_y の決定方法

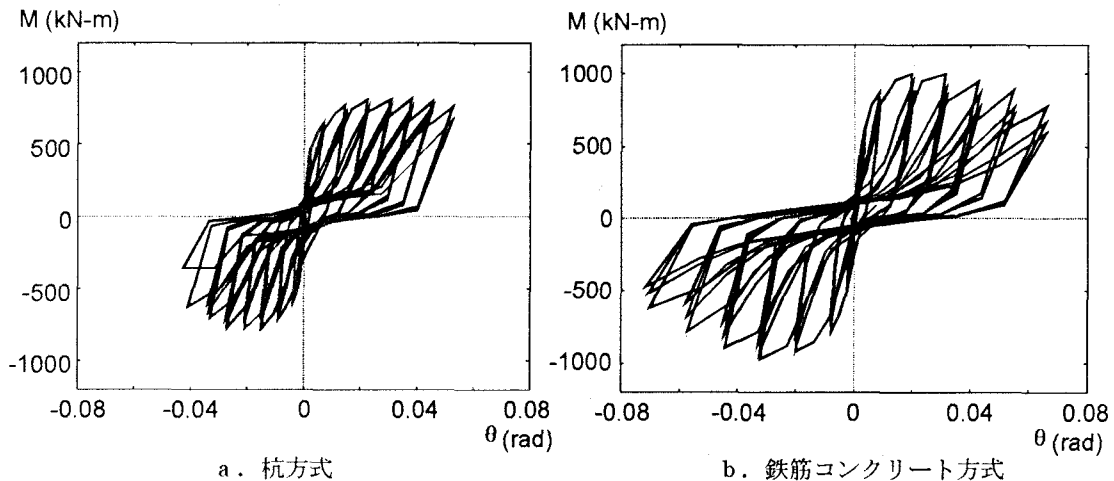


図 3.5.16 繰返し載荷時の M- θ 関係

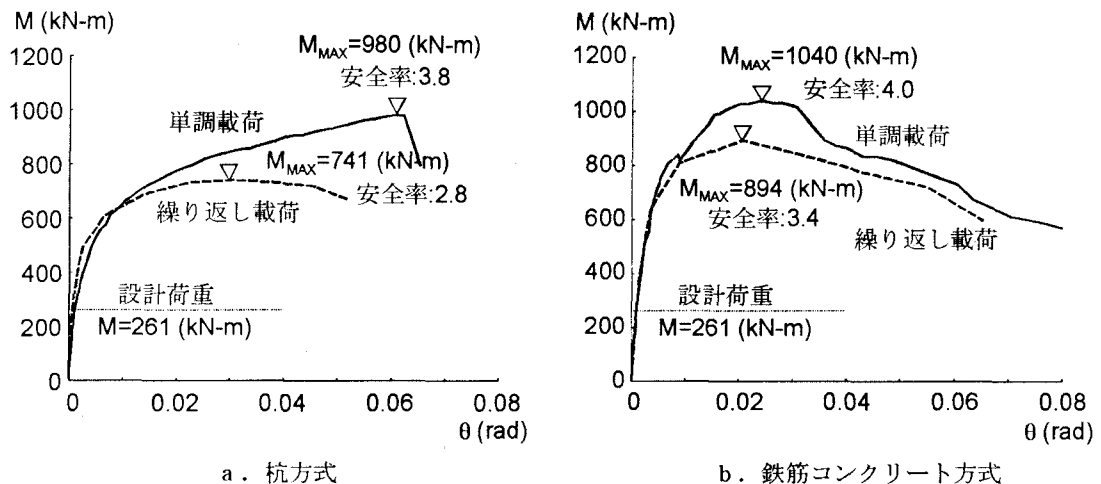


図 3.5.17 定着部の M- θ 関係

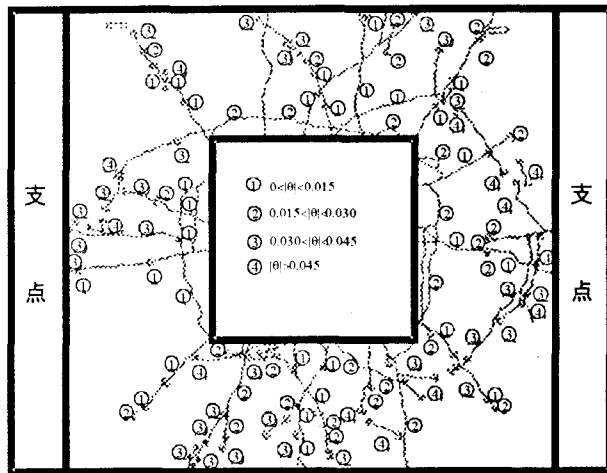


図 3.5.18 繰り返し載荷時のひび割れ状況
(杭方式)

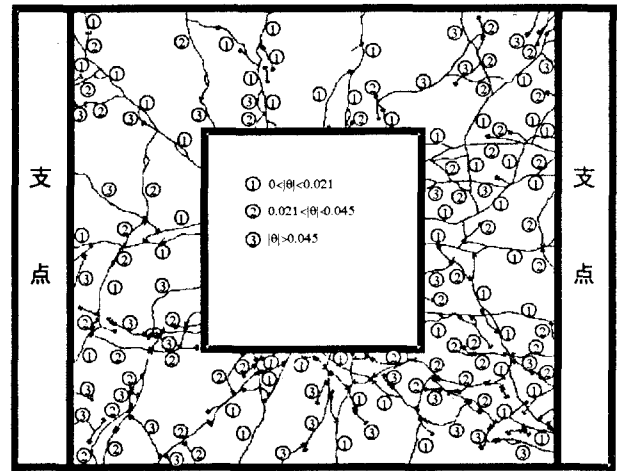


図 3.5.19 繰り返し載荷時のひび割れ状況
(鉄筋コンクリート方式)

繰り返し載荷では杭方式と同様図 3.5.19 に示すように、ベース下モルタルならびにフーチングの圧壊により最大荷重に到達し荷重がゆるやかに低下する。ただ、アンカービームの引き抜きに関係するひび割れも生じ、フーチング全体には、杭方式より多くのひび割れが発生する。一方、単調載荷では、先に述べたように、フーチングのせん断破壊（コーン破壊（図 3.5.14））により最大荷重到達後大きく荷重が低下する。一般に最大荷重到達前のアンカー部の挙動はアンカーボルトの変形に支配され、最大耐力到達後にはひび割れ進展によりコンクリートフーチングの挙動が関与してくる。

3.5.5 アンカー部の挙動を考えた橋脚の地震時保有水平耐力の照査

現行の設計法ではアンカー部と橋脚躯体ともに同等の設計荷重と安全率が考慮されており、その耐力に優劣を付けるという明確な考えはない。しかしながら、アンカー部は橋脚躯体をフーチングに定着するための重要な構造であり、橋脚の耐震性に大きな影響を与える。また、アンカー部が被害を受けた場合は、その補修が大規模となる。したがって、基本的には、アンカー部は橋脚躯体以上の耐力を持ち、かつ、地震荷重に対してアンカーボルトが降伏しないことが望ましい。ただ、この結果、アンカー部の構造が大きくなることは避けられない。さらに、兵庫県南部地震レベルの大地震（ $k_{hc} = 1.5 \sim 2.0$ ）を対象とした地震時保有水平耐力の照査¹⁵⁾を行う場合には、震度法と同様な考え方を踏襲し、アンカーボルトを弾性域にとどめるためには、都市内など、基礎の規模が制限を受ける場合には定着部の設計がかなり困難になると考えられる。また、既存の橋脚躯体を耐震補強をする場合、橋脚躯体の耐力の上昇は避けられず、地震時にアンカーボルトの塑性化を許さない設計はさらに難しくなる。

兵庫県南部地震程度の大地震の再現期間は、少なくとも鋼製橋脚の耐用年数に比べ長いことを考えると、このクラスの地震に対するアンカーボルトの塑性化を補修の困難さの観点から議論することは必ずしも現実的ではないと考えられる。ただ、無制限にアンカーボルトの塑性変形を許すのではなく、やはり、鋼製橋脚

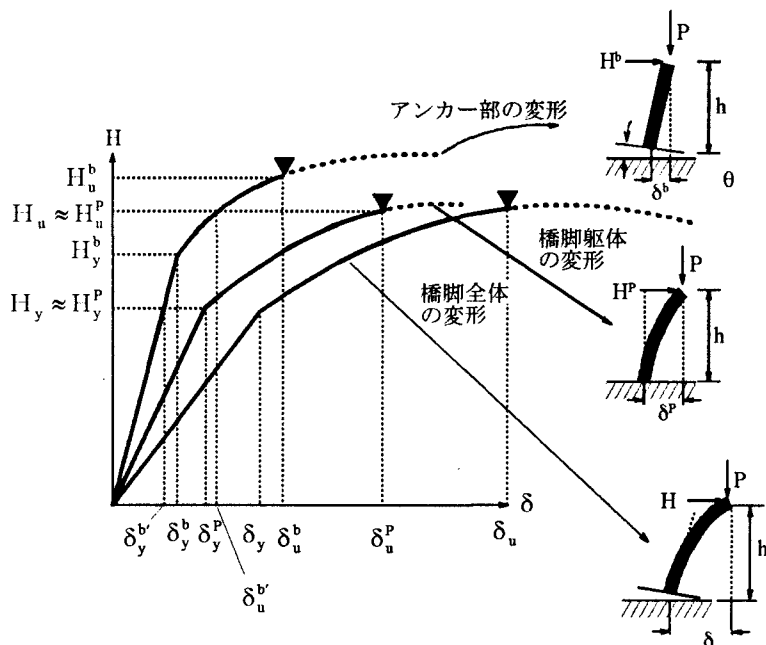


図 3.5.20 橋脚躯体とアンカー部の変形を考慮した
橋脚の水平力－水平変位関係の概念図

の機能は保持する範囲に押さえる必要がある。このためには、アンカー部と鋼製橋脚躯体相互の終局挙動を考慮する必要がある。ここでは、アンカー部の塑性変形を考慮した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力の照査方法を説明する。

図 3.5.20 は、アンカー部、橋脚躯体が橋脚全体の終局挙動にどのように関係するかを水平荷重－水平変位の関係において概念的に示したものである。図中の記号は以下のような意味を持っている。

H_y : 橋脚の降伏水平力

H_y^p : 基部を固定とした橋脚の降伏水平力

H_y^b : アンカー部の降伏水平力(アンカーボルトの降伏)

H_u : 橋脚の終局水平耐力

H_u^p : 基部を固定とした橋脚の終局水平耐力

H_u^b : アンカー部の終局水平耐力

δ_y : 橋脚の降伏水平変位

δ_y^p : 基部を固定とした橋脚の降伏水平変位

δ_y^b : アンカー部の回転による降伏水平変位

$\delta_y^{b'}$: H_y^p が作用したときのアンカー部の回転による水平変位

δ_u : 橋脚の終局水平変位

δ_u^p : 基部を固定した橋脚の終局水平変位

δ_u^b : アンカー部の回転による終局水平変位

$\delta_u^{b'}$: H_u^p が作用したときのアンカー部の回転による水平変位

なお、アンカー部の終局水平耐力 H_u^b も H_u^p より大きくなる場合が多いものと考えられ、ここでは以下の関係が成立するものと仮定する。

$$H_y^p < H_y^b, H_u^p < H_u^b \quad (3.5.1 \text{ a,b})$$

アンカー部の挙動を考慮した鋼製橋脚の降伏水平力 H_y 、水平耐力 H_u は幾何学的非線形効果を見れば、基部を固定した鋼製橋脚の降伏水平力 H_y^p 、水平耐力 H_u^p とほぼ等しい。すなわち

$$H_y \approx H_y^p, H_u \approx H_u^p \quad (3.5.2 \text{ a,b})$$

したがって、地震時保有水平耐力照査において、アンカー部の挙動を考慮することにより差が生ずるのは許容塑性率の値である。許容塑性率の算定において、橋脚の各変位量を近似的に橋脚躯体とアンカー部のそれぞれの変位成分に分けて示すと次のようになる。

$$\mu_a = 1 + \frac{\delta_u - \delta_y}{\alpha \delta_y} = 1 - \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\delta_u}{\delta_y} \right) \approx 1 - \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha} \frac{\delta_u^p + \delta_u^{b'}}{\delta_y^p + \delta_y^{b'}} \quad (3.5.3)$$

α : 安全係数 (例えば $\alpha = 1.5$)

また等価水平震度 k_{he} は μ_a を用いて次のように表される。

$$k_{he} = \frac{k_{hc}}{\sqrt{\left(1 + \frac{H_a}{H_y}\right) \mu_a - \frac{H_a}{H_y}}} \quad (3.5.4)$$

$$H_a = H_y + \frac{H_u - H_y}{\alpha} \quad (3.5.5)$$

k_{hc} : 基準水平震度 (1.5~2.0)

ここに $\delta_y, \delta_u, H_y, H_u$ はそれぞれ 3.5.4 で提示したアンカー部モデルを骨組の複合非線形解析に導入することで算定される。また、 k_{he} は式(3.5.2)と(3.5.3)をもとに近似的に、基部が固定された鋼製橋脚の複合非線形解析より得られる $\delta_y^p, \delta_u^p, H_y^p, H_u^p$ と 3.5.4 のアンカー部モデルより得られる M- θ 関係から算定される $\delta_y^{b'}, \delta_u^{b'}$ を用いて計算することもできる。

鋼製橋脚基部が固定される場合には許容塑性率 μ_a^p が

$$\mu_a^p = 1 + \frac{\delta_u^p - \delta_y^p}{\alpha \delta_y^p} = 1 - \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\alpha} \frac{\delta_u^p}{\delta_y^p} \quad (3.5.6)$$

であることからアンカー部の塑性変形を考慮した許容塑性率 μ_a とアンカー部を固定とした場合の許容塑性率 μ_a^p との関係は以下のようなになる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{I} \quad \frac{\delta_u^{b'}}{\delta_y^{b'}} > \frac{\delta_u^p}{\delta_y^p} \text{ のとき} \quad \mu_a > \mu_a^p \\ \text{II} \quad \frac{\delta_u^{b'}}{\delta_y^{b'}} = \frac{\delta_u^p}{\delta_y^p} \text{ のとき} \quad \mu_a = \mu_a^p \\ \text{III} \quad \frac{\delta_u^{b'}}{\delta_y^{b'}} < \frac{\delta_u^p}{\delta_y^p} \text{ のとき} \quad \mu_a < \mu_a^p \end{array} \right\} \quad (3.5.7 \text{ a~c})$$

I は橋脚躯体の降伏後終局耐力に至るまでのアンカー部の変形率 $\delta_u^{b'}/\delta_y^{b'}$ が橋脚躯体そのものの塑性率 δ_u^p/δ_y^p より大きい場合で、このようなときには、アンカー部の塑性化を許容することで、等価水平震度が低下する。一方、III は I と異なり、ア

ンカー部分の変形率が橋脚躯体の塑性率より小さい場合で、アンカー部の塑性化を許容することで逆に等価水平震度は増加する。

参考文献

- 1)西沢紀昭、玉置脩、山内博、小寺重郎：道路橋鋼脚柱アンカー部の設計と強度に関する実験研究、コンクリート工学、Vol.13, No.2, pp93-109, 1975
- 2)秋元泰輔、桜井順、宮内博良：フーチングにおける鋼橋脚アンカー部の破壊機構と補強方法、橋梁と基礎、Vol.19, No.10, pp18-26, 1985
- 3)上條崇、後藤芳顯、日比幸一、藤原英之、小畑誠：曲げおよび軸力を受ける鋼脚柱定着部の繰り返し載荷実験、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集 I-34, PP68-69, 1994.
- 4)Goto,Y. and Obata,M : Design Practice and Behavior of Steel Bridge Pier Connections in Japan, Proc. of 2nd State of the Art Workshop on Semi-Rigid Behavior of Civil Engineering Structural Connections, COST C1, pp225-234, Prague, 1994
- 5)後藤芳顯、日比幸一、上條崇、藤原英之、小畑誠：アンカーフレーム杭方式による鋼脚柱定着部の繰り返し載荷実験、構造工学論文集、Vol.41A, PP.1137-1143, 1995
- 6)上條崇、後藤芳顯、藤原英之、小畑誠、高橋宣男：アンカーフレーム単鉄筋方式による鋼脚柱定着部の繰り返し載荷実験、土木学会第50回年次学術講演会講演概要集 I-26, pp52-53, 1995
- 7)Goto,Y., Fujiwara,H. and Kamijo,T. : Effect of Column Base Restraint on Overall Stability of Frame-Type Bridge Piers, Proc. of the 4th PSSC, Vol.1, pp573-580, 1995
- 8)後藤芳顯、上條崇、藤原英之、小畑誠：鋼製橋脚定着部の終局挙動とそのモデル化に関する考察、構造工学論文集、Vol.42A, pp987-998, 1996
- 9)後藤芳顯：落橋防止装置とアンカー部、平成7年度土木学会中部支部第2回技術講座、「阪神大震災から得た教訓と今後の耐震設計」－橋梁構造物－、pp97-108, 平成8年1月
- 10)首都高速道路公団：鋼構造物設計基準、平成4年
- 11)名古屋高速道路公社：鋼構造物設計基準、昭和62年
- 12)阪神高速道路公団：設計基準第2部、構造物設計基準(橋梁編)、平成2年
- 13)日本道路協会：道路橋示方書・同解説、V 耐震設計編、平成2年2月
- 14)鋼構造新技術小委員会：鋼構造物の安全性の調査報告－阪神大震災における鋼構造物の被害報告と今後の耐震設計－、p.108, 平成7年5月
- 15)日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)、平成7年6月

3.6 耐震連結装置

3.6.1 まえがき

地震時の橋げたの落下は都市内の高架橋においてはそれ自身の機能が停止するだけでなく、下部交通路も遮断するという意味で絶対に避けなければならない被害形態である。これを避けるため都市内高架橋には落橋防止構造¹⁾が設けられていたにもかかわらず、阪神淡路大震災においては落橋

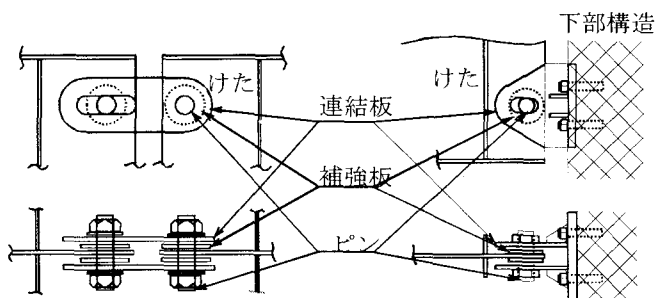


図 3.6.1 連結板を用いるエネルギー吸収装置

の被害を受けた例が見られ、また落橋に至らなかったものの想定されなかったモードで落橋防止構造が破壊した例もあった。これらの被害状況を考えると現在の落橋防止対策には様々な見直しが必要であると考えられるが、なかでも既設橋梁の落橋防止対策と関連して重要なのは文献²⁾にもあるが衝撃に対する強度や十分な変形能を落橋防止装置に持たせることであると思われる。そこで本研究は現在鋼橋の耐震連結装置として数多く用いられている鋼板タイプを対象にその改良を主眼におく。そして従来型と同等の強度を持ち、高いエネルギー吸収能を有するものの一例としてスリット型耐震連結板をあげ、実験によりその特性をあきらかにする。

3.6.2 実験の概要

(1)目的

スリット型連結板はピンがスリットに進入しスリットを押し広げながら通過するときの衝撃吸収とエネルギー吸収を期待するものである。そこでスリットまわりの形状が連結板の強度およびエネルギー吸収能に与える影響を実験により確認する。地震荷重の特性を考えてこれらの挙動の載荷速度に対する影響も見ると同時に静的載荷に加えて一定速度の高速引張破壊試験も行う。

(2)供試体

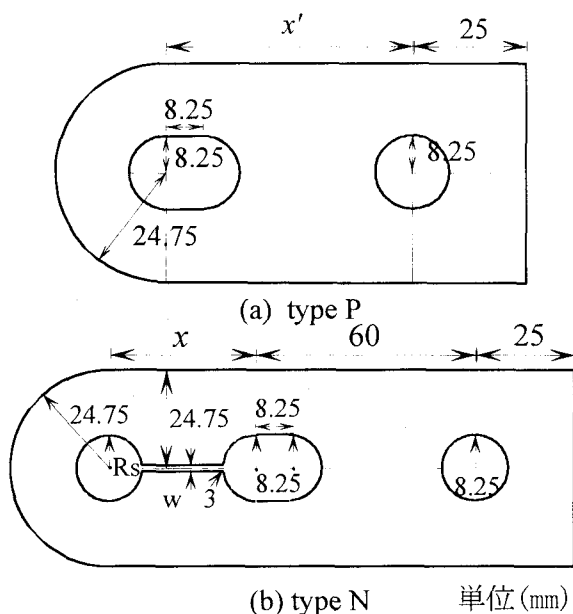


図 3.6.2 供試体の形状

表 3.6.1 供試体の名称

供試体名	x or x' (mm)	w (mm)	R_s (mm)
P90	90	-	-
P100	100	-	-
P110	110	-	-
N30-3	30	3	8.25
N30-6	30	6	8.25
N30-9	30	9	8.25
N40-3	40	3	8.25
N40-6	40	6	8.25
N40-9	40	9	8.25
N50-3	50	3	8.25
N50-6	50	6	8.25
N50-9	50	9	8.25
Ns30-3	30	3	5
Ns30-6	30	6	5
Ns40-3	40	3	5
Ns40-6	40	6	5
Ns50-3	50	3	5
Ns50-6	50	6	5

実験に用いた供試体の形状および種類は図 1 に示すとおりである。タイプ P (図 1(a)) は現在普通に用いられているものに対応する形状でありこれは吊り材等でも見られるものである。

今回提案するタイプ N (図 1(b)) はピン孔の先の部分を延長し、そこにスリットを設けたものである。ただし、両タイプともに破壊する部位を特定する意味で片側は角形とした。角形の部分の耐荷力は丸形に比較して 5%程度大きいことが知られている。³⁾また試験機の定格荷重およびストロークの能力から実際の 1/4~1/6 程度のスケールとした。材質はいずれも SS400 とし、厚さは 4.6mm である。ピンにはハイテンボルト(F10T,M16 75)を用いた。各供試体の詳細を表 1 にまとめる。今回、形状パラメーターとして選んだのは図 1(b)にあるスリットの長さ x と幅 w およびスリットの先端に位置するストップホールとしての孔の径 R_s である。各供試体の材料強度については表 3.6.2 にまとめる。

表 3.6.2 材料強度

供試体	降伏強度(MPa)	引張強度(MPa)
P,Ns シリーズ	303	433
N シリーズ	292	458

(3)実験方法

静的載荷実験では MTS 社製材料試験機により標準材料試験法に則り準静的に供試体を破壊に至るまで引張った。用いた治具を図 3.6.3 に示す。連結板の過大な面外変形を抑制する目的で供試体と治具の間にワッシャを挿入している。ただし、連結板の塑性変形に伴う板厚方向へのはらみだしを拘束しない程度の隙間を残した。ピンと連結板の間の摩擦が無視できない影響を与えるが、実際に摩擦係数自体を評価し制御するのは困難であるので、実験にあたってはピンと連結板の間の摩擦をできる限り低減し条件を一定に保つためにグリースを塗布した。

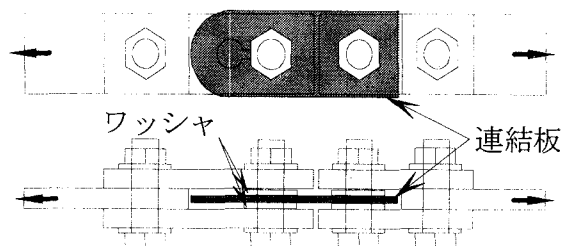


図 3.6.3 静的載荷用治具

表 3.6.3 載荷パターン

供試体	載荷方法	供試体	載荷方法	供試体	載荷方法	供試体	載荷方法
P90	静的	N30-3	静的	N40-3	静的	N50-3	静的
P100	静的		125mm/sec		125mm/sec		125mm/sec
P110	静的		250mm/sec		250mm/sec		250mm/sec
Ns30-3	静的		500mm/sec		500mm/sec		500mm/sec
Ns30-6	静的	N30-6	静的	N40-6	静的	N50-6	静的
Ns40-3	静的		125mm/sec		125mm/sec		125mm/sec
Ns40-6	静的		250mm/sec		250mm/sec		250mm/sec
Ns50-3	静的		500mm/sec		500mm/sec		500mm/sec
Ns50-6	静的	N30-9	静的	N40-9	静的	N50-9	静的
			125mm/sec		125mm/sec		125mm/sec
			250mm/sec		250mm/sec		250mm/sec
			500mm/sec		500mm/sec		500mm/sec

高速載荷実験は島津製作所社製高速高エネルギー試験装置(定格荷重 100tonf)により行った。引張り速度は一定とし 125, 250, 500mm/sec の 3 種類とした。これは橋脚の頂部での地震時における最大速度がおおよそ 1000mm/sec と見積もられていること¹⁾とこの供試体が実物の 1/4~1/6 モデルであることを参考に決定した。実験にあたっては静的引張り試験と同様に摩擦低減のためにグリースを用いた。なお、治具は静的載荷用と同様であるがワッシャは用いていない。

表 3.6.3 に供試体と対応する載荷パターンをまとめる。

3.6.2 実験結果

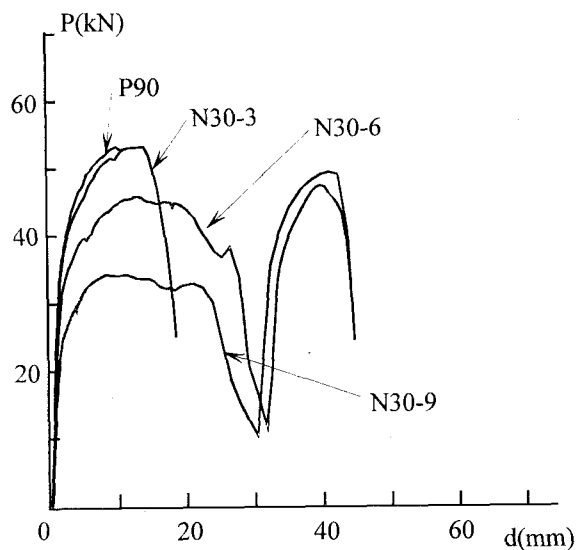
(1)静的載荷実験

図 3.6.4 に静的引張実験の荷重変位曲線を示す。横軸はピン間の相対変位、縦軸は荷重を表している。また荷重変位曲線から得られる吸収エネルギーを表 3.6.4 にまとめた。ここに求めたものは最大荷重を与える変位までの値である。スリット先端の孔の径が小さい Ns シリーズについてはすべてピンがスリットに進入せず連結板の角形側で破壊が生じたためここには示していない。従来型との比較のためにタイプ P でタイプ N に対応する大きさを有するものの結果もあわせて示した。ここで、N30-3 と N40-3 ではともにピンはスリットに入らず Ns タイプと同様の形式で破壊した。この図でわかるようにピンがスリットに入って破壊するときには、まずスリット進入時に荷重は極大値をとり、通過中はそれよりもやや小さい値を取る。スリット通過後ふたたび荷重が上昇しタイプ P とほぼ同等かやや小さめの最大値をとり破断に至っている。スリット通過直後も荷重が 0 にならないのは図 3.6.3 に示すように供試体と治具との間にワッシャを入れたためスリット部が大きく塑性変形するとともに横にせり出しワッシャと治具が接触し摩擦が生じたためである。ただしピンがスリットに進入した場合は連結板が大きく面外に曲げ変形したものはなかった。先端部が同様の形状を持つにもかかわらずピンがスリットを通った場合にタイプ P に比べてやや小さいのはスリット通過にともない先端部が塑性変形を受けたためと考えられる。スリットに入りさえすれば図 3.6.4 や表 3.6.4 に示されているように連結板の耐荷力の 5 割以上の荷重でピンがスリットを通過するためにタイプ P に比べて確実にスリットの長さの分だけの大きな変形能と 3~5 倍のエネルギー吸収を期待することができることがわかる。したがってピンのスリット進入時と通過時の荷重のコントロールが設計において重要な因子となる。

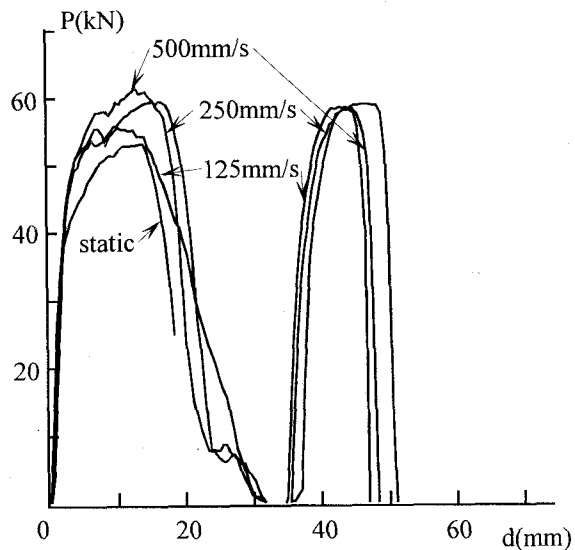
進入時の荷重は当然ながらスリット幅が小さいほど大きい、細かくみるとスリットの長さの影響も受けている。すなわち、スリットが長いほど減少する傾向が見られる。このために、静的載荷では N30-3 と N40-3 の 2 例ではスリットが開いていないが、N50-3 ではピンがスリットに進入している。ただし N50-3 では進入直後の荷重は全体としての最大荷重とほぼ同等となっている。これはスリットが短いほどスリットをはさんだ上下の部分の面内の曲げ（開口）に対する抵抗が

表 3.6.4 静的載荷における吸収エネルギー(kJ)

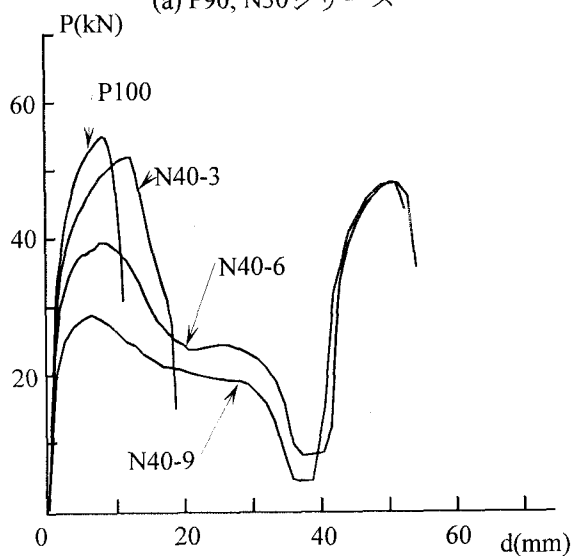
供試体	吸収エネルギー	供試体	吸収エネルギー	供試体	吸収エネルギー
P90	0.35	P100	0.35	P110	0.34
N30-3	0.63	N40-3	0.49	N50-3	1.88
N30-6	1.50	N40-6	1.39	N50-6	1.70
N30-9	1.35	N40-9	1.20	N50-9	1.46



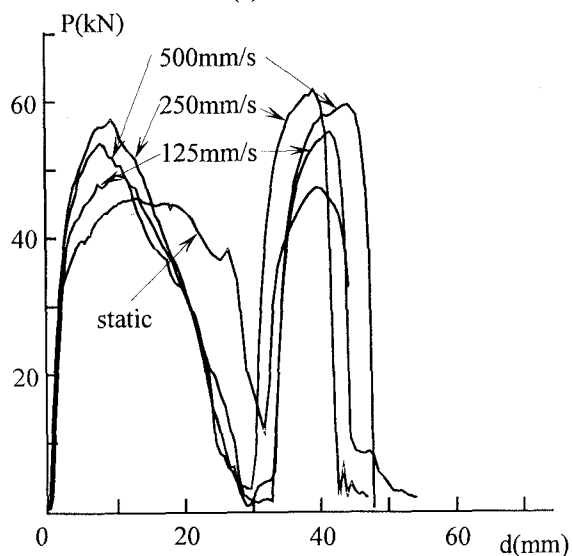
(a) P90, N30シリーズ



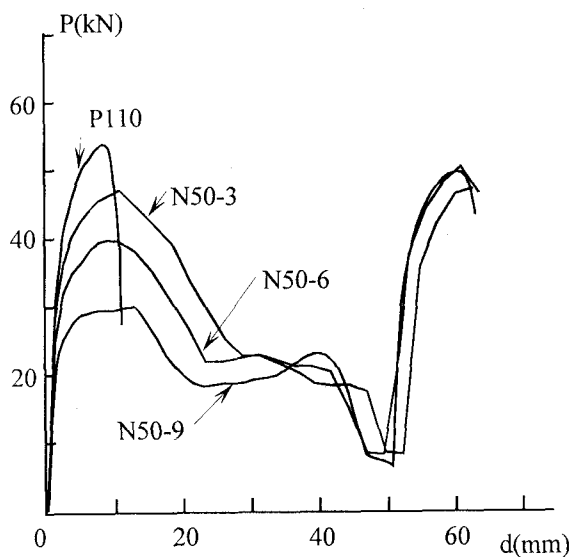
(a) N30-3



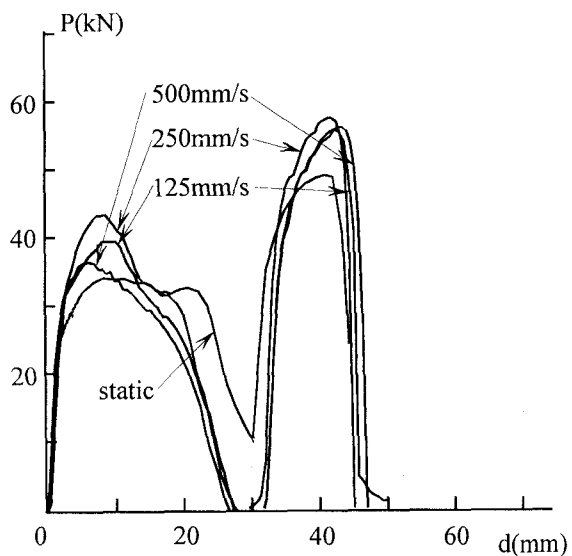
(b) P100, N40シリーズ



(b) N30-6



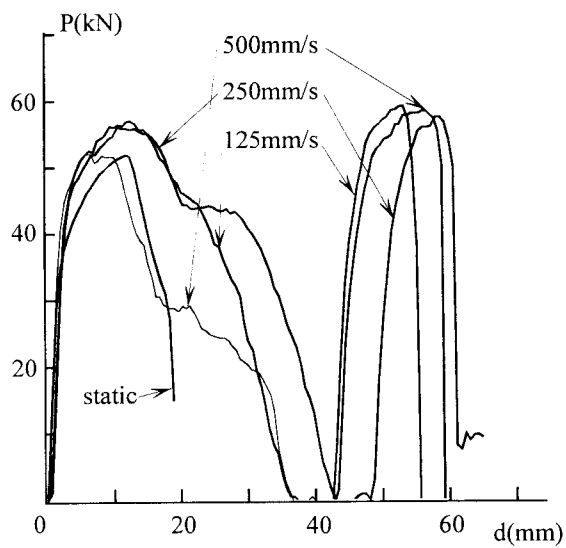
(c) P110, N50シリーズ



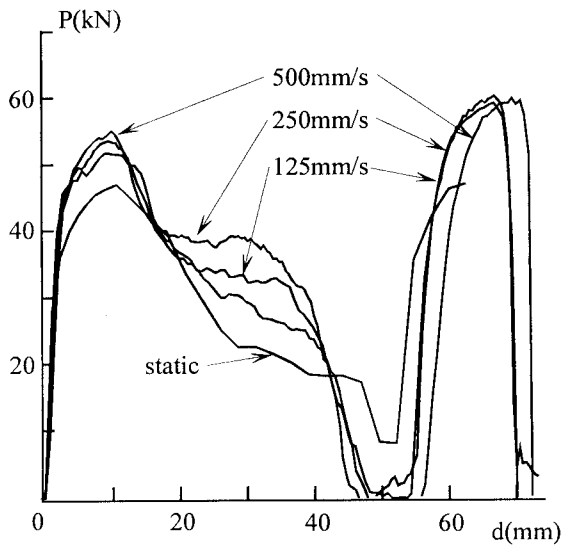
(c) N30-9

図3.6.4 静的荷重荷重変位曲線

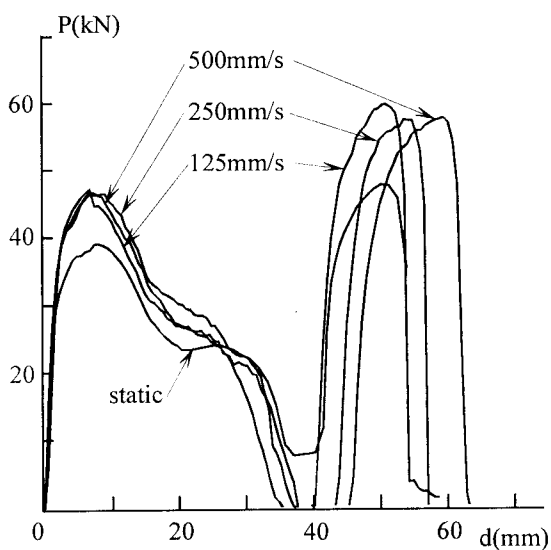
図3.6.5 荷重変位曲線 (N30シリーズ)



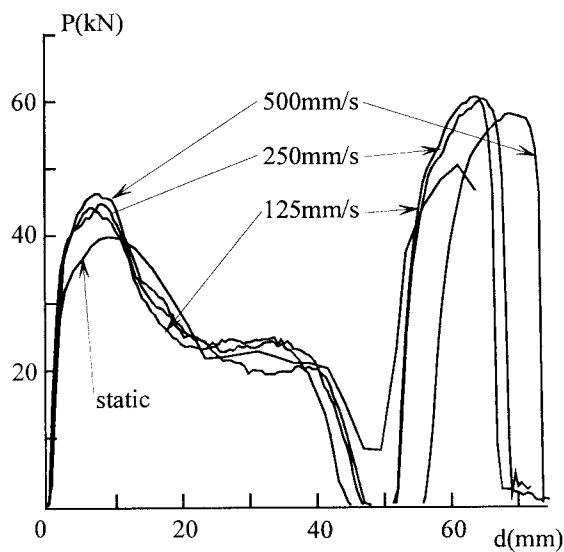
(a) N40-3



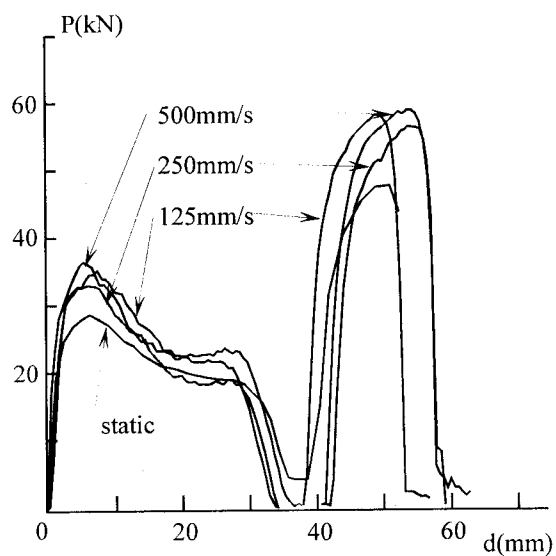
(a) N50-3



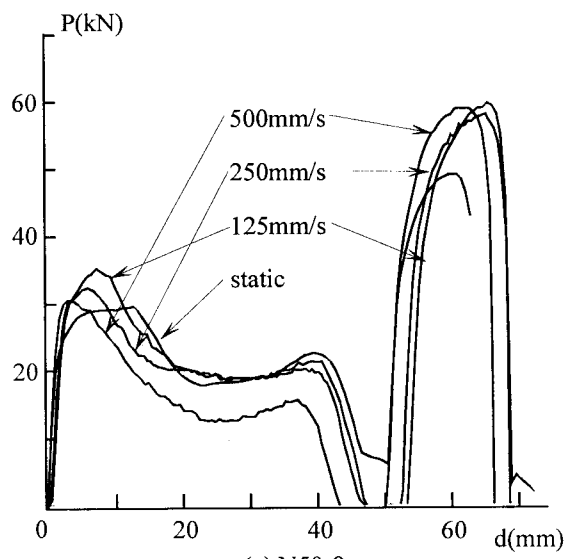
(b) N40-6



(b) N50-6



(c) N40-9



(c) N50-9

図3.6.6 荷重変位曲線(N40シリーズ)

図3.6.7 荷重変位曲線(N50シリーズ)

大きくなるためと考えることができる。また、スリット出口にあるストップホールとしての孔であるがこの影響はきわめて大きく、上にも述べたように $R_s = 5\text{mm}$ のものではスリットの幅によらずピンのスリットへの進入は起こらなかった。これもまた、径が小さいとスリットを挟む部分の開口に対する抵抗が大きくなるためである。なお、スリット通過中の荷重の差はスリットの出口に近づくにつれて小さくなっている。

以上のことから、図 3.6.2 のように現在ある形状を単純に拡張した形状を用いるかぎり、耐力をほぼ同等にできることとピンのスリットへの進入しやすさの両面からストップホールについては従来の孔の径と同じにすることが望ましいといえる。少なくともストップホールの径を従来の径より小さくすることは避けた方がよい。またスリットの長さは可能な限り長くとり同時に幅もピン径の4割以上とすることがピンのスリットの通過を確実にする上で必要であると考えられる。このようにピンがスリットを通過するようにするためにはスリットまわりの形状や塑性変形の拘束条件がかなり微妙に影響しているので、実際の設計にあたっては十分な解析と検討をしておくべきである。

(2) 高速載荷実験

図 3.6.5～7 にタイプ N のそれぞれに対する高速載荷実験の荷重変位曲線を示す。また吸収エネルギーを表 3.6.5 にまとめる。ピンがスリットを通過する場合の荷重変位曲線の傾向は静的載荷のそれと同様であるが、スリット通過時に静的載荷時の荷重との差は小さい。高速載荷実験でも静的載荷実験と同様の治具を用いたが過大な面外の変形を抑えるワッシャは使用していないため、スリット通過後荷重はいったん 0 になり再度連結板の先端部に接触したのち荷重が上昇し破壊に至っている。スリット進入時と破断時の荷重は静的な載荷に比べていずれも 1～2 割程度増加しているがこれは文献 3) の実験とほぼ同じ傾向を示している。ただし文献 3) の結果とは異なり載荷速度の差の影響ははっきりと認めることはできなかつた。スリットが最も開口しにくい N30-3 の供試体ではスリット進入時に全体の最大荷重が現れていることが特徴的である。この形式の連結板をエネルギー吸収装置に用いるときにこのことは必ずしも望ましい性質ではないので設計においては十分に注意する必要がある。エネルギー吸収能についても、上にも述べたようにワッシャの摩擦の影響にもかかわらず静的載荷に比較してほとんどの例で増加しており、基本的には静的載荷の値を下回ることはないと考えることができる。なお、N30-3 の吸収エネルギーの計算は最大荷重点までではなく破断直前のピーク荷重までとした。

3.6.4 まとめ

以上の結果をスリット型連結板の設計という観点からまとめると次のようになる。

- 1) スリット型連結板は変形能とエネルギー吸収において従来型に比較して非常に優れた性能を持つ。

表 3.6.5 高速載荷時の吸収エネルギー(kJ)

載荷速度	N30-3	N30-6	N30-9	N40-3	N40-6	N40-9	N50-3	N50-6	N50-9
静的	0.63	1.50	1.30	0.49	1.39	1.20	1.88	1.70	1.46
125mm/s	1.49	1.36	1.18	1.47	1.47	1.28	2.21	1.72	1.59
250mm/s	1.70	1.48	1.23	1.56	1.56	1.33	2.31	1.84	1.57
500mm/s	1.54	1.54	1.15	1.72	1.72	1.29	2.25	1.79	1.31

- 2) エネルギー吸収能はスリットの長さとおよびスリット出口のストップホールの径のそれぞれに影響される。ピンのスリットへの進入を確実にするためにはスリット幅はピン径の4割程度以上、ストップホールの径は従来型と同等程度、またスリット長さは長い方が望ましい。
- 3) 高速の载荷により静的な载荷に比べて最大荷重とエネルギー吸収の両方ともに増加するが荷重に関しては1～2割程度である。

なお、本研究では考慮することができなかつたがピンと連結板の摩擦も実際の挙動には大きく影響するものと思われるのでこの点についても実状に応じた適切な考慮をする必要がある。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、Ⅴ耐震設計編, 1994
- 2) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様および復旧仕様の解説、1995.2.
- 3) 小畑 誠、後藤 芳顕、松浦 聖：高速引張時の落橋防止装置連結板の強度特性、土木学会論文報告集、441, 1-18, pp97-105, 1992