

た円形合成柱であり、図-1のように中央部から左右500mmの範囲を45度ピッチに配置した縦リブで補強している。縦リブの高さは $h=25, 50\text{ mm}$ の2種類である。また、「S」にはD10の軸方向筋を15度ピッチで配筋した。鉄筋比は全断面の0.87%で、鋼管断面積の約1/6である。

荷重は単純ばり形式の漸増繰返し法で行ない、中央部に集中荷重(P)を加えた。従って、中央部の縦リブで補強した部分が塑性化し、試験体の性状に影響を与えるようになっている。

3. 耐荷力

図-2に P_{cr}/P_p , P_{max}/P_p (P_{cr} :座屈荷重, P_{max} :最大荷重, P_p :縦リブを考慮した仮定1による全塑性モーメントに対応する耐荷力)と $D/t \cdot \sigma_y / E_s$ (ここでは等価径厚比と呼ぶ)の関係を示す。

図-2の P_{cr}/P_p をみると各試験体とも点線で示した(その1)の縦リブなしの結果を上回っており、縦リブの効果により座屈荷重が大きくなっていることが分かる。等価径厚比の等しいH90R-2, H90U-2, H90R-2Sの値が異なっているのは縦リブ断面の大小や鉄筋を考慮した全塑性モーメントがそれぞれ異なることによる。また、等価径厚比が大きいSM58を用いたW90R-2でも縦リブなしの結果を大きく上回っているものの、SM50のH90R-2と比較すると低く、同程度の縦リブ補強では高張力鋼の鋼管は座屈に関して不利であることを示している。

次に、 P_{max}/P_p でも実線で示した縦リブなしの結果を各試験体とも上回っている。また、各試験体とも1.15~1.19とほぼ一定値である。この耐荷力の上昇は縦リブの効果により座屈の発生が遅くなり座屈波の拡大が制限されるために塑性化が進みひずみ硬化が大きくなっていること、また、コンクリートが鋼管で拘束されることによって生じる三軸効果も大きくなっていることを示している。特に等価径厚比の大きい領域でその傾向が著しく、縦リブを設けることにより大幅に性状が改善されることがうかがえ、径厚比の使用限界を拡張できる可能性を示唆している。

4. 変位性状

図-3~6に各試験体の $P \sim \delta$ 曲線を示す。図-7にはH90U-2の正荷重時の包絡線をCDC (Column Deflection Curves) 法による解析結果とともに示し、図

	直径 (D:mm)	板厚 (t:mm)	径厚比 (D/t)	実験パラメータ			鋼管及び鉄筋の材料特性			コンクリート材料特性 (kg/cm ³)	最大荷重 (ton)
				縦リブ (h:mm)	鉄筋	鋼種	降伏点 (σ_y :kg/cm ²)	引張強度 (σ_t :kg/cm ²)	伸び (%)		
H90R-S	500	6.0	83	25	無	SM50	4250	5740	32	108.1	
H90U-2	500	6.0	83	50	無	SM50	4250	5740	32	91.8	
W90R-2	500	6.0	83	25	無	SM58	5630	6580	27	114.1	
H90R-2S	500	6.0	83	25	有	SM50	4250	5740	32	119.6	
						SD35	3650	5330	19	100.2	

④最大荷重の欄は上段:実験値, 下段:計算値 (Mp法, 図-7の仮定1を使用)を示している。

表-1 試験体諸元, 材料特性および実験結果

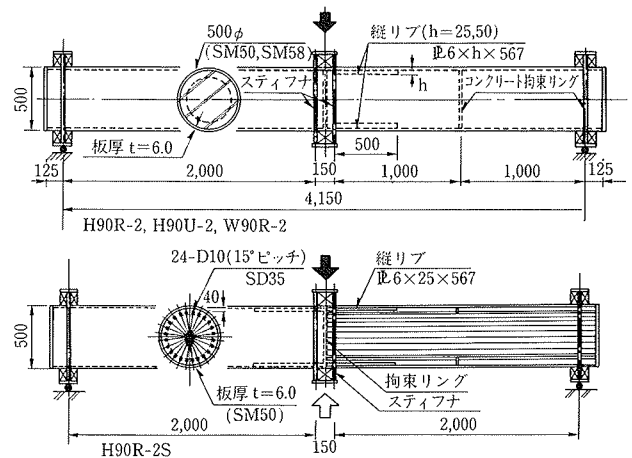


図-1 試験体

8には包絡線の荷重および変位を無次元化した $P/P_p \sim \delta/\delta_p$ 曲線を示す。また、図-9, 10に載荷点から10cmの位置で測定した引張および圧縮縁の $P \sim \epsilon$ 曲線を示す。

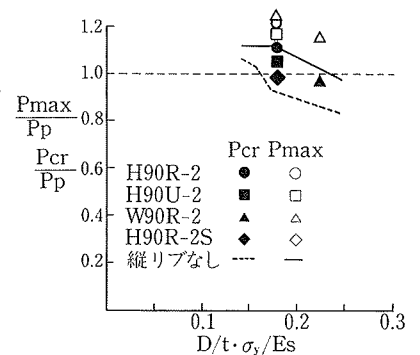


図-2 P_{cr}/P_p , $P_{max}/P_p \sim D/t \cdot \sigma_y / E_s$ 関係

図-7のH90U-2の破壊順序は

次のような経過をたどる。まず、内部のコンクリートに曲げひびわれが発生し、剛性低下を示した後、次第に塑性化が進むとともに、縦リブ補強区間の加力点近傍の圧縮ゾーン0~45度間(図-11参照)に部分座屈が生じる。次に、縦リブ外側で全体座屈が発生し、部材角 $\gamma=1/36$ で最大荷重に達した。45~90度間に部分座屈が広がるのは最大荷重以後である。

各試験体とも最大荷重時までの $P \sim \delta$ 性状に大きな相違はないが、それ以後は座屈性状が異なり変位性状に多

少変化が現われた。図一8で比較すると、多少の相違はあるものの各試験体とも縦リブのないH90B-2と挙動が異なっている。すなわち、縦リブのないH90B-2が $\delta/\delta p = 4$ 程度で最大荷重に達し、その後は急激に負勾配になるのに対して、

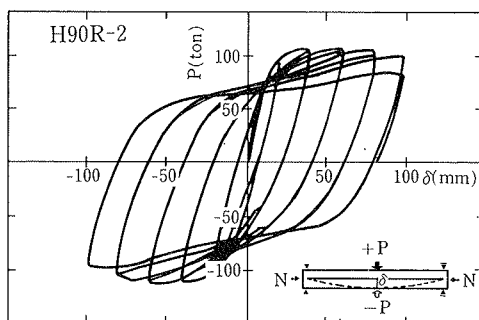


図-3 P~δ 曲線

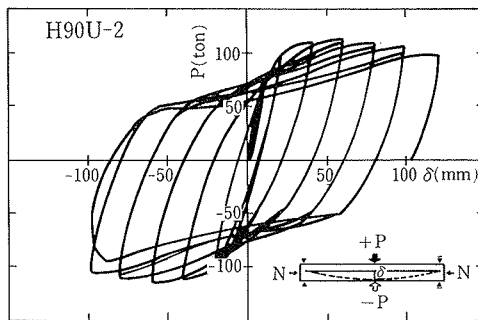


図-4 P~δ 曲線

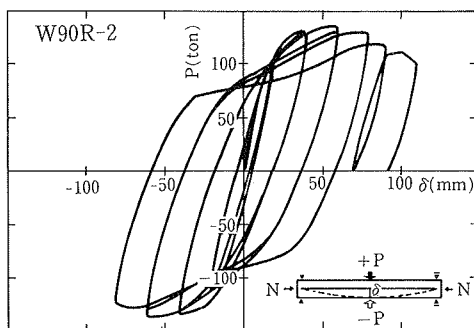


図-5 P~δ 曲線

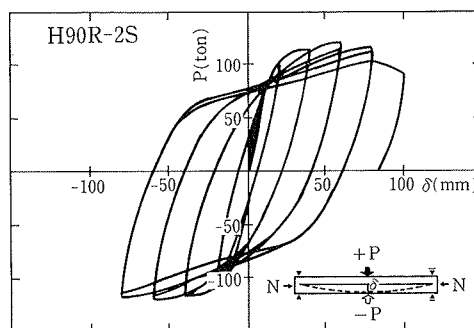


図-6 P~δ 曲線

縦リブのある4体は引続き荷重が $\delta/\delta p = 5$ 程度まで増加している。これは、前述のように鋼管のひずみ硬化とコンクリートの三軸効果によると考えられる。そして、H90R-2, H90R-2S, H90U-2の3体は最大荷重、変位もほぼ一致し、その後H90U-2がやや負勾配になるもののほぼ同一の挙動を示している。それに対してW90R-2は荷重の低下がやや早い。

次に、CDC解析結果と比較する。図-7のように鋼管のひずみ硬化とコンクリートの三軸効果は無視した仮定1の解析値は、軸力と変位による2次曲げモーメントを含む全塑性モーメントに対応する P_p' 線 ($P_p' = P_p - \delta N$)に漸近していき、次第に実験値と相違する傾向を示す。

そこで、鋼管のひずみ硬化とコンクリートの三軸効果を考慮した仮定2の解析を行なった。鋼材では座屈を考慮して降伏点からの強度増加を $0.5(\sigma_t - \sigma_y)$ 、勾配は繰り返し載荷の影響を考え $0.02 E_s$ とし、コンクリートには富井ら²⁾によって提案されている三軸拘束効果を考慮したモデルを採用した。

仮定2のCDC解析では図-7に示すP~δ曲線となり、最大荷重112.5 ton, 最大変位61.4 mmであった。座屈が起こるまで荷重、変位ともに実験結果を良好に追跡していると考えられる。なお、通常用いられる勾配の0.01 E_s とすると、最大荷重109.4 ton, 最大変位65.1 mmとなり、耐力力がやや低めに与えられるようである。また、図-9, 10のP~ε関係でも実験値と良好な対応を示している。圧縮外縁、引張外縁の最大荷重時のひずみはそれぞれ -12300μ , 19400μ 程度、また、試験体中央では、それぞれ -21000μ , 37500μ となっている。コンク

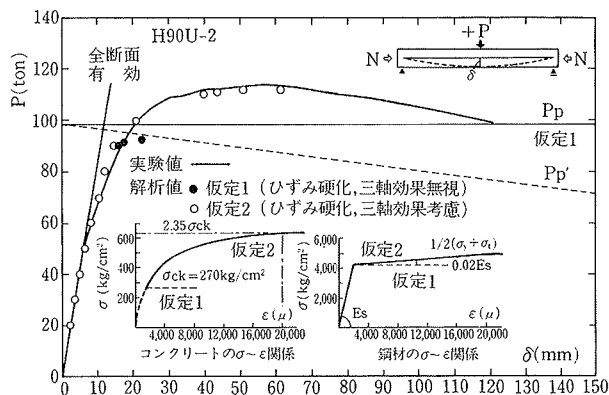


図-7 P~δ 曲線 (包絡線)

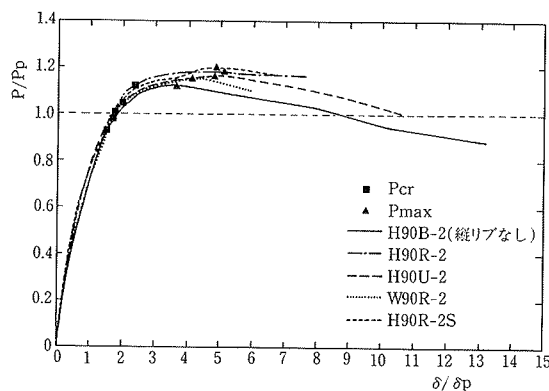


図-8 P/Pp~δ/δp 曲線

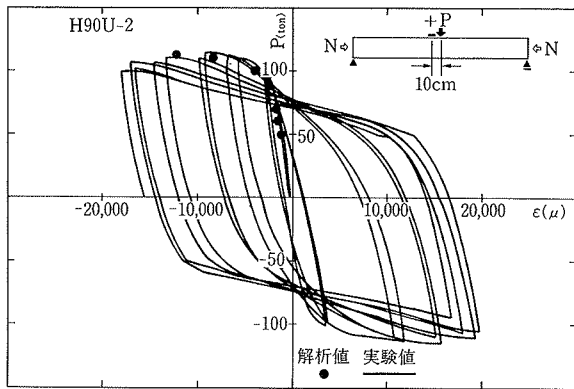


図-9 P~ε 曲線

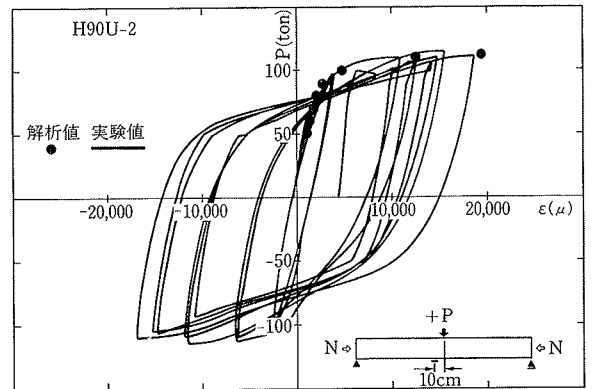


図-10 P~ε 曲線

リートの圧縮縁での応力が $2.35 \sigma_{ck}$ 、鋼管では引張縁から約 15 cm の内部まで最大応力に達した状態で終局状態となっている。

このように、鋼管のひずみ硬化と最大応力上昇、コンクリートの三軸効果を考慮した CDC 解析では、耐荷力、変位およびひずみ性状を適切に評価することが可能である。

5. 履歴性状

図-11~14に目視測定した座屈によるふくらみ量を、図-15, 16にそれぞれの P~δ 曲線から求めた吸収エネルギー量 (ΔW), 減衰定数 (He) を示す。

図-3~6の履歴曲線を見ると、各試験体とも部材角 $\gamma=3/100$ までは紡錘形の履歴性状を示しているが、 $\gamma=4/100$ 以降 S 字形の傾向を示し始める。しかし、縦リブのない場合と異なり、S 字形の履歴性状で変位が著しく進行するスリップ現象は生じていない。図-11, 12の縦リブのある 0° 位置、 45° 位置でのふくらみ高さをみると、明らかに縦リブサイズの大きい H90U-2を除く3体は $\gamma=3/100$ から $\gamma=4/100$ にかけてふくらみ高さが増加していることが分かる。すなわち、縦リブで補強している位置の座屈モードが縦リブ間の部分座屈から縦リブを含んだ全体座屈に移行する過程で履歴性状も紡錘形から S 字形に移行していくことを示している。一方、H90U-2は図-14に示すように $\gamma=3/100$ より縦リブで補強された外側、すなわち、縦リブのない部分での全体座屈が他と比べて極めて大きく、この影響により S 字形の傾向を示したと考えられる。そのため最大荷重以降に負勾配となり、縦リブなしの結果に類似した傾向を示している。

図-15の吸収エネルギー量と部材角の関係をみると、各試験体とも変位に比例して吸収エネルギー量が増加し

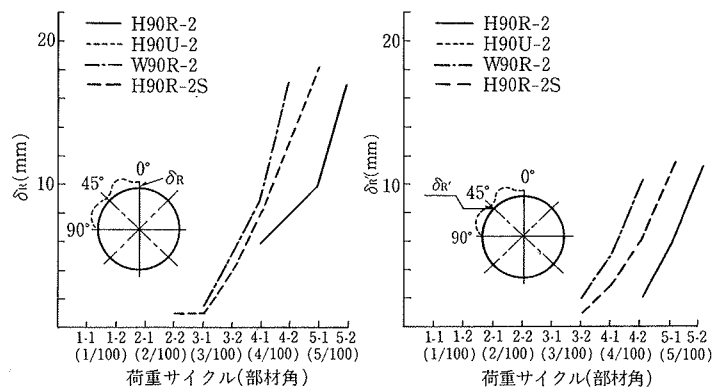


図-11 0度の縦リブ位置でのふくらみ量

図-12 45度の縦リブ位置でのふくらみ量

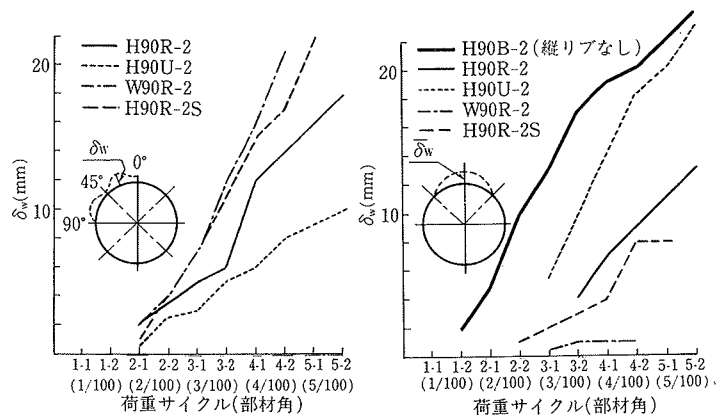


図-13 0~45度の縦リブ間でのふくらみ量

図-14 縦リブ外側の座屈によるふくらみ量

ており、縦リブのない H90B-2と比較してその勾配が大きく、 $\gamma=2/100$ までは大差ないものの、それ以降は大幅に吸収エネルギー量が増加していることが分かる。

また、図-16の減衰定数と部材角の関係をみると、W90R-2を除く3体は $\gamma=2/100$ までは H90B-2とほぼ同様の性状を示している。しかし、 $\gamma=2/100$ 以降、H90B-2はほぼ一定値を示すが、 $\gamma=2/100$ まで H90B-2より低かった W90R-2を含めて縦リブのある場合は上昇勾配がやや低下するものの、減衰定数はさらに大きくなっ

ていき、縦リブによる影響が顕著になる。縦リブのない H90B-2 では $\gamma=4/100$ で減衰定数は 0.3 程度であったが、H90R-2 では 0.4 程度に増加している。縦リブのサイズの相違でみると、縦リブの大きい方がむしろ減衰定数は小さい傾向となっているが、縦リブの外側での全体座屈の影響が卓越するためであり、縦リブの効果が十分現われていない結果になっている。また、鋼材の相違でみると、縦リブのない場合と同様に高張力鋼の方が不利という結果になっている。しかし、等価径厚比が大きくても縦リブで補強することにより、履歴性状が大幅に改善されていると考えられる。鉄筋の有無では減衰定数に差はみられない。すなわち、配筋試験体は耐荷力が高いだけ座屈に対して不利となるにもかかわらず、変位性状、履歴性状とも同等の性状を示していると考えられる。

6. まとめ

6.1. 耐荷力について

各試験体とも全塑性モーメント (Mp) の 1.15~1.19 倍の耐荷力を有しており、縦リブのない場合と比較して鋼管のひずみ硬化と三軸応力状態でのコンクリート強度の増加が著しい。特に、高張力鋼を用いたものは径厚比の大きい試験体であり、この実験結果から判断すると縦リブを取り付けることにより径厚比制限を緩和できる可能性があると言える。

また、配筋により径厚比を変えずに耐荷力を調節できることが示唆された。

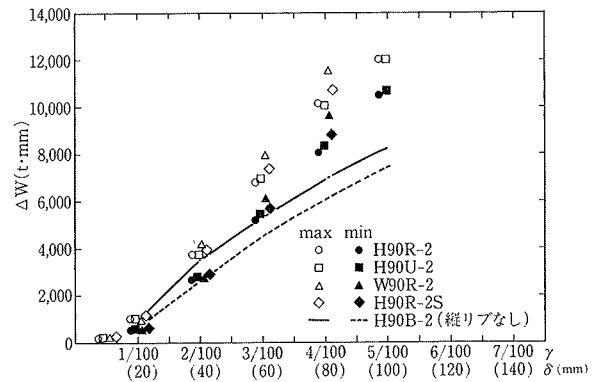
6.2. 変位性状について

縦リブ間の部分座屈、縦リブ外側の全体座屈、最大荷重などの発生順序は試験体により異なるが、P~ δ 性状は最大荷重時まで大きな相違はない。また、最大荷重に達した後、各試験体の座屈性状を反映して P~ δ 性状は多少相違するが、縦リブのない試験体のように急激に負勾配になることはない。

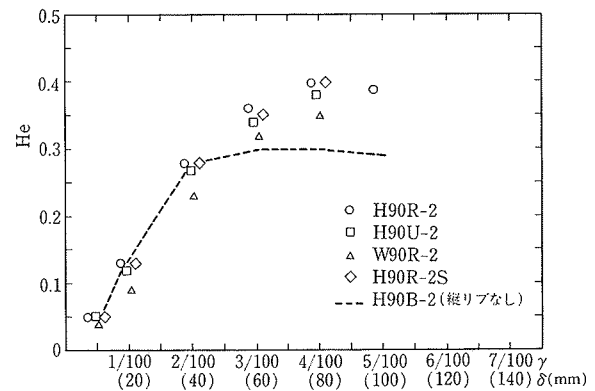
CDC 法では鋼管のひずみ硬化および三軸状態でのコンクリート強度の増加を考慮した適切な応力~ひずみ関係を与えることによって耐荷力、変位およびひずみも含めて評価することが可能である。

6.3. 履歴性状について

各試験体とも $\gamma=3/100$ までは安定した紡錘形の履歴性状を示すが、その後、S 字形の履歴性状を示し始める。しかし、縦リブのない試験体と異なり変位が著しく進行するスリップ現象は生じなかった。



図一15 吸収エネルギー



図一16 減衰定数

吸収エネルギーは変位に比例して大きくなる。縦リブのない場合と比較すると勾配が大きく $\gamma=2/100$ を超えると相違が顕著になる。また、減衰定数は縦リブなしでは $\gamma=2/100$ 程度で 0.3 となり、その後ほぼ一定値を示したが、縦リブのある場合はさらに大きくなり、 $\gamma=4/100$ で 0.4 となっており、縦リブの効果は明瞭である。

謝 辞

この実験は首都高速道路公団の委託により実施したものであり、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 野村, 他: 合成柱による高架橋橋脚の研究 (その 1), 大林組技術研究所報, No. 36, (1988), pp. 62~66
- 2) 富井, 他: 円形断面鉄筋コンクリート短柱のせん断破壊を鋼管補強により防止する設計法に関する実験的研究, 第 8 回コンクリート工学年次講演会講演論文集, (1986), pp. 517~520