

論文 重ね継手を有する鋼管鉄筋コンクリート柱の耐荷力と変形性能

渡部 太一郎*¹・鷹野 秀明*²

要旨：鉄道高架橋の柱部材に鋼管鉄筋コンクリートを使用し、かつ施工上の簡便さを考えて鋼管内部の軸方向鉄筋を重ね継手とした場合を想定して、静的水平交番載荷試験を行った。本文は、重ね継手長及び鋼管厚が鋼管鉄筋コンクリート柱の耐力と変形性能に与える影響について述べたものである。試験の結果、鋼管厚が鋼管鉄筋コンクリート柱の塑性変形性能に与える影響は大きく、鋼管厚が増えるに従って終局変位が大きくなることが分かった。一方、重ね継手長が塑性変形性能に与える影響については顕著な傾向は見られなかった。また、鋼管厚を小さくすると重ね継手部で破壊することが分かった。

キーワード：じん性率、重ね継手、静的水平交番載荷試験

1. はじめに

最近増加している都市部における鉄道の連続立体交差化事業において、施工上の効率化を求める傾向が強くなっている。また、昨年の兵庫県南部地震の発生により、多くの鉄道用RCラーメン高架橋が被害を受けたことは記憶に新しいところであり、特に柱部材にじん性を持たせた設計を行うことの必要性が見直されている。そのようなことから、ラーメン高架橋の柱部材の変形性能を高めるために鋼管を帯鉄筋または型枠代わりとして使用する場合が増えてきている。また、現場での効率的な施工を考慮すると、鋼管内部の軸方向鉄筋を重ね継手とすることが考えられるが、そのような部材に水平力が作用したときの変形性能については未知な部分も多い。そこで今回、重ね継手を有する鋼管鉄筋コンクリート柱の静的水平交番載荷試験を行い、その変形性能・耐力について考察を行った。

2. 試験方法

試験概要を図-1に示す。供試体フーチング部は、PC鋼棒で床に固定されている。載荷は、鉛直ジャッキにより一定軸方向圧縮応力度を与え、柱頭部付近を載荷点とした静的水平交番載荷とした。載荷パターンは、柱の軸方向鉄筋の降伏までは荷重制御で1サイクルの載荷、その後は、載荷点変位が降伏時変位 δ_v の整数倍($n=1,2,3,\dots$)となるように各変位3サイクル載荷し、 $n\delta_v$ 時1サイクル目の最大荷重が $1\delta_v$ 時

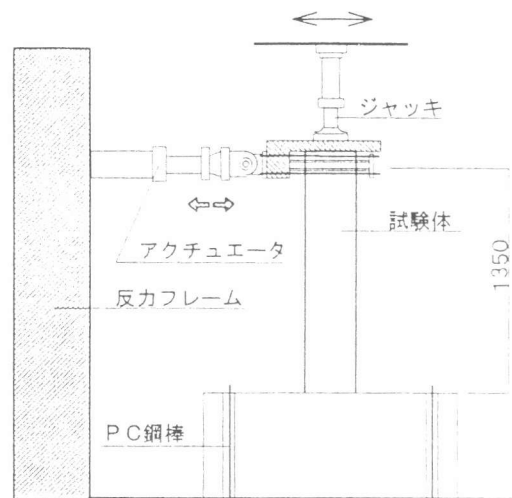


図-1 試験概要

*1 東日本旅客鉄道(株) 上信越工事事務所 新潟工事区 (正会員)

*2 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室 (正会員)

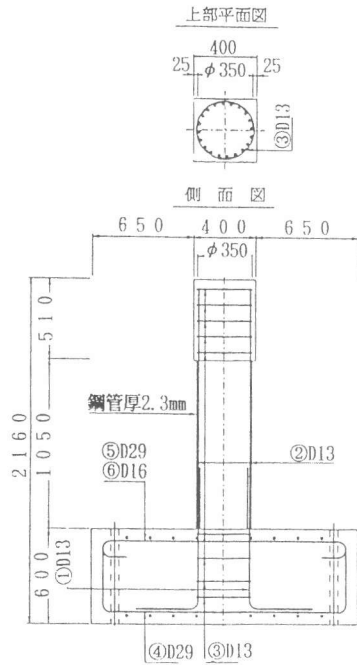


図-2 供試体配筋図 (No.1,2)

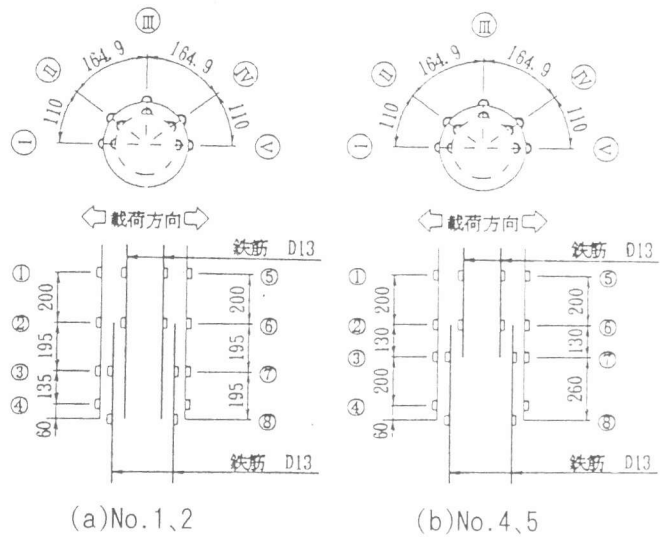


図-3 ゲージ貼付位置

表-1 供試体諸元

(単位: mm)

供試体No.	鋼管径 D	鋼管厚 t	t/D (%)	重ね継手長 L	軸方向鉄筋径 ϕ ($\times 20$ 本)	L/ ϕ	せん断スパン a
1	350	2.3	0.66	390	13	30	1350
2	350	1.2	0.34	390	13	30	1350
3	350	2.3	0.66	260	13	20	1350
4	350	2.3	0.66	130	13	10	1350
5	350	0.6	0.17	130	13	10	1350

表-2 材料試験結果

(単位: kgf/cm²)

供試体No.	鋼管 (降伏点) f _{syk}	鋼管 (引張強度) f _{suk}	鉄筋 (降伏点) f _{syk}	鉄筋 (引張強度) f _{suk}	コンクリート f _{'ck}
1	3826	4866			267
2	2672	3483			311
3	3826	4866	3757	5036	325
4	3826	4866			358
5	1184	3211			374

の最大荷重を上回った場合には、次の変位段階に進むものとした。そして、最終的に降伏荷重を下回った段階で試験を終了した。軸方向鉄筋の降伏は、載荷方向引張り側に対して、両側45°の1/4円部分の鉄筋が降伏ひずみ (2100 μ)に達したときとした。なお、鉛直軸方向圧縮応力度は、実際のラーメン高架橋の柱部材にかかる軸力を考慮して、19kgf/cm²とした。

図-2に供試体形状及び配筋を示す。供試体は全てその柱頭部の載荷治具部分を除いて、鋼管鉄筋コンクリートとなっている。図に示すように、鋼管RC柱の軸方向鉄筋は、鋼管内部に沿って配置されており、柱の根元付近においてフーチングと鋼管RC柱の軸方向鉄筋が重ね継手となっている。また、軸方向鉄筋はフーチング天端からフーチング内へ鉄筋径の30倍以上延ばし、フーチング下端に沿って定着されている。

今回は、表-1に示す通り、鋼管厚 t と重ね継手長 L をパラメータとしてそれぞれ試験を行った。表中、せん断スパンは、フーチング天端から柱頭部載荷点中心までの距離を表している。

使用した鉄筋、鋼管及びコンクリートの材料試験結果を表-2に示す。鉄筋にはSD345を、鋼管にはSPCC1種（冷間圧延鋼板）を用いた。

ひずみは、図-3に示す位置に貼付したワイヤストレインゲージによって測定した。ゲージは、鉄筋は軸方向一軸ゲージ、鋼管は水平・鉛直方向の二軸ゲージとした。

3. 試験結果

3.1 破壊性状

供試体No.1は、 $8t_f$ でフーチングに初期ひび割れが発生し、 $5\delta_y$ からは鋼管周に沿った円形状のひび割れが発生し、それが浮き上がるようにフーチングく体から剥離し、破壊に至った。鋼管は、最大でフーチング天端から6cmの位置の載荷斜め方向の水平ひずみが 1093μ に達しているが、降伏(1700μ)には至っていない。

No.3は、 $1\delta_y$ では初期ひび割れは見られなかったが、No.1同様フーチング天端に円形状のひび割れが発生し、これが剥離して破壊に至った。鋼管は、フーチングとの接合部においてははらみ出す現象が見られた。

No.4は、 $9t_f$ でフーチングに初期ひび割れが発生し、No.1、3と同様にフーチング天端の円形状のひび割れに発展して、フーチング内軸方向鉄筋の定着劣化破壊に至っている。以上3体に関しては、重ね継手長の違いによる鋼管外観の差異は特に認められなかった。

一方、鋼管厚が小さいNo.2は、鋼管外周に沿ってコンクリートに細かいひび割れが発生した。鋼管については、フーチングとの接合部において鋼管がはらみ出す現象が見られた。

No.5は、さらに鋼管厚が小さく鋼管による拘束力が小さいために、写真-1に示すように、フーチング天端の軸方向鉄筋が降伏する前に重ね継手部におい

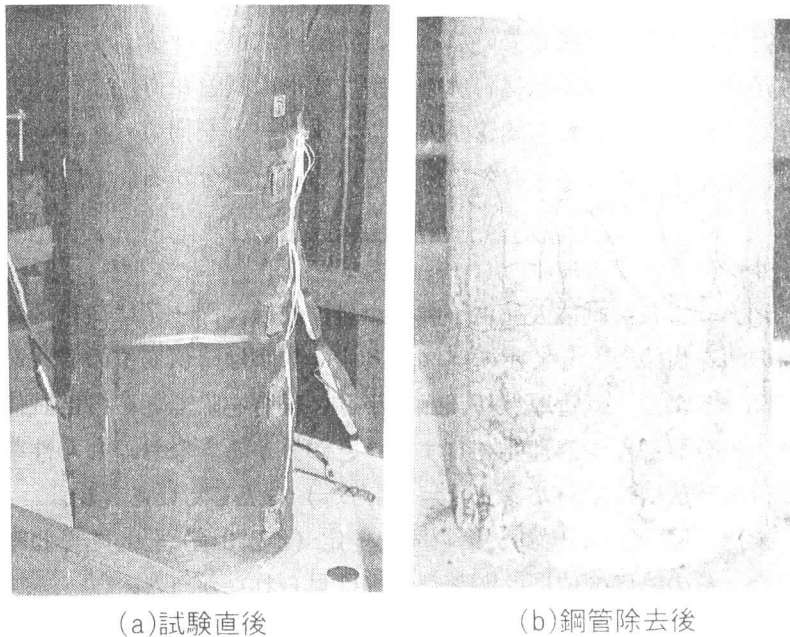


写真-1 破壊状況(No.5)

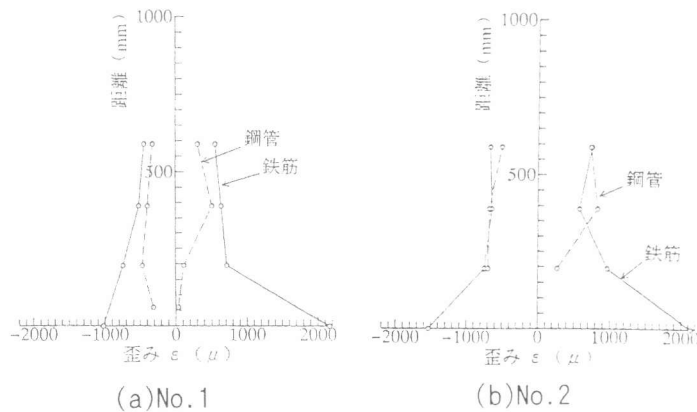


図-4 鋼管・鉄筋歪み分布

て付着割裂破壊を起こし、それに鋼管が抵抗不能となり局部的に鋼管がはらみだし破壊に至った。

3. 2 ひずみ分布

図-4にNo.1,2の降伏時軸方向鉄筋及び鋼管の鉛直方向ひずみ分布を示す。鋼管は、フーチング天端においてフーチングと接合されていないので、フーチング天端に近い部分の鋼管の鉛直方向ひずみは、ほぼ0となっており、柱とフーチングの接合部においては、軸方向鉄筋のみが曲げ引張りに対して有効なことが分かる。また、柱中間部においては、鋼管も鉛直方向の応力を受けており、鋼管厚が小さい方が鋼管の鉛直ひずみが大きくなっている。

図-5にNo.1供試体の鉄筋及び鋼管各々の内、最大ひずみを示しているゲージの荷重-ひずみ曲線の包絡線を示す。図の鉄筋のひずみは、フーチング天端の載荷方向引張鉄筋のものであり、鋼管は接合部上6cmにおける、引張側載荷斜め方向の鋼管の水平方向ひずみを表している。軸方向鉄筋が降伏に至るまでは、鋼管にはほとんどひずみは生じていないが、鉄筋降伏後、ひずみが増大しており、部材降伏後の塑性変形に鋼管が寄与している、すなわち鋼管が内部コンクリートを拘束し、せん断に対しても有効に働いていることが分かる。

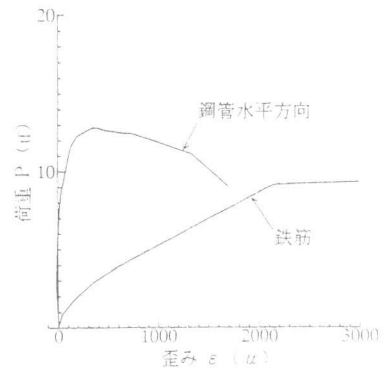


図-5 荷重-ひずみ関係 (No.1)

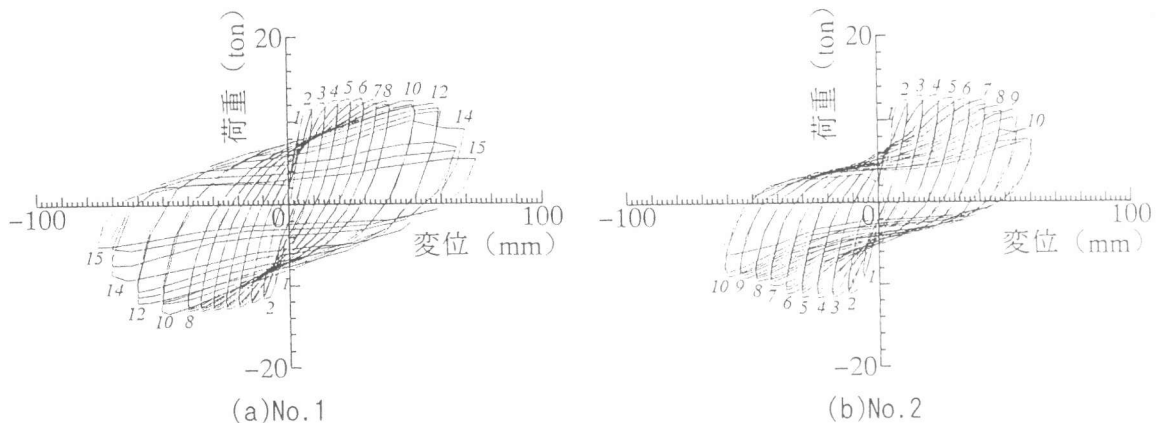
4. 荷重-変位曲線

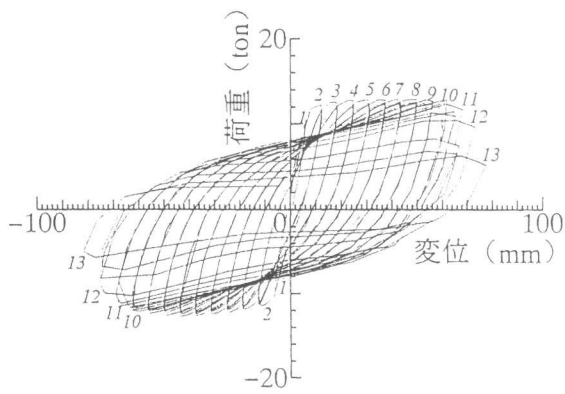
図-6に各供試体の荷重-載荷点変位曲線、図-7に荷重-変位曲線における各変位最大荷重時の値を包絡線として示す。図-6中の数字は降伏変位の倍数を表している。

図-6より、鋼管厚 t が0.6mmと小さい場合を除くと、各供試体のじん性率 μ は1.0程度以上あり、十分な塑性変形性能を有することが分かる。なお、じん性率は、降伏荷重を下回らない最大変位の降伏変位に対する比 ($=\delta_u/\delta_y$) を表している [1]。

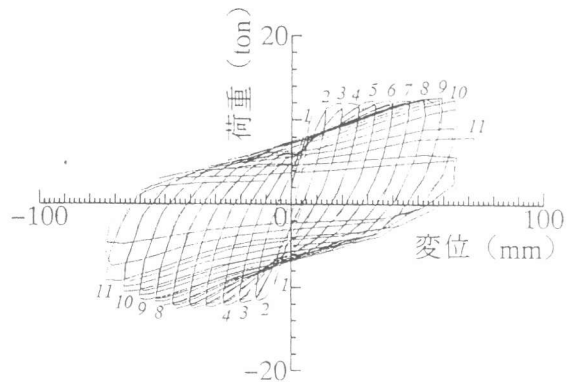
また、図-7(a)より、鋼管厚を一定 ($t=2.3\text{mm}$) として重ね継手長を $10\phi\sim 30\phi$ と変化させた場合、その終局変位には顕著な傾向は見られなかった。

次に、重ね継手長を一定として、鋼管厚を変化させた場合であるが、図-7(b)のように鋼管厚 t が鋼管鉄筋コンクリート柱の変形性能に与える影響は大きい。同時に、図-7(c)でも分かるように、鋼管厚がかなり小さくなると、鋼管による拘束力が著しく失われ、柱基部の軸方向鉄筋が曲げ降伏に至らないうちに重ね継手部が破壊していることが分かる。

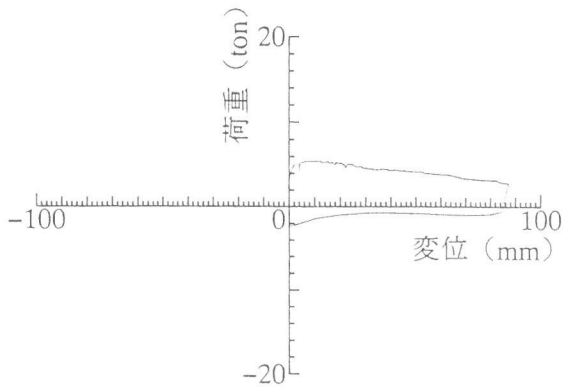




(c) No. 3

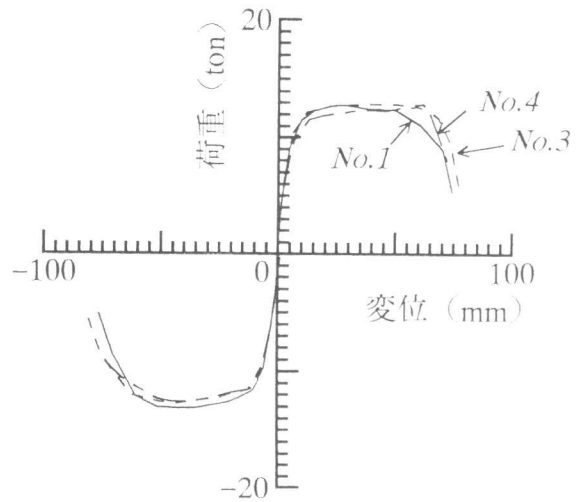


(d) No. 4

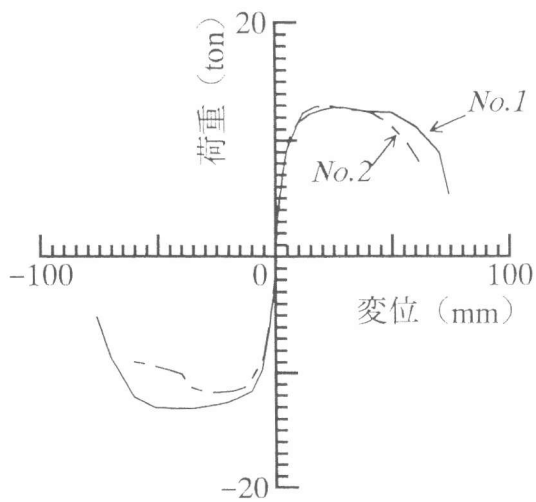


(e) No. 5

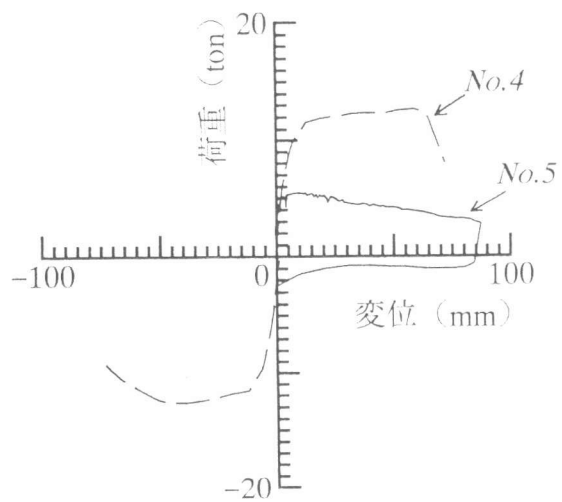
図-6 荷重-変位曲線



(a) 鋼管厚 $t=2.3\text{mm}$



(b) 重ね継手長 $L=30\phi$



(c) 重ね継手長 $L=10\phi$

図-7 荷重-変位包絡線

5. 鋼管RC柱の耐力及び塑性変形性能の考察

表-3に本試験による曲げ耐力実験値と計算値の比較並びに試験から得られたじん性率 μ の値を示す。

本試験における供試体は、全て鋼管をフーチングに埋め込んでいないので、特に柱基部においては、圧縮に対してのみ鋼管が有効であると仮定して曲げ降伏耐力及び終局曲げモーメントを計算した。すなわち、鋼管厚にヤング係数比 ($E_s/E_c=7$) を乗じて鉄筋コンクリート断面に換算し、終局時のコンクリート圧縮ひずみを0.0035として算定した [2,3]。これらの計算値は、表-2に示してある実測したコンクリートの強度、および鉄筋の降伏点強度を用いて求めた。鋼管厚がかなり小さい試験体No.5を除くと、計算値と実験値はほぼ一致しているといえる。

変形性能については、鋼管厚が特に小さい供試体No.5を除くと、全てじん性率10程度以上あり、十分な塑性変形性能を有していることが分かる。

また、同表からも分かるように、重ね継手長の違いによる終局変位の値には、特に傾向は見られなかった。これは、重ね継手部が柱基部より少し上部に位置しており、鉄筋に作用する応力もそれほど大きくなく、鋼管も $t=2.3\text{mm}$ と十分な大きさを有しているため、特に傾向が見られなかったものと思われる。

一方、鋼管厚 t が終局変位に与える影響は大きく、鋼管厚が大きくなるに従い、終局変位も大きくなる結果となった。また、鋼管厚が小さいと、重ね継手部の付着割裂破壊に鋼管が抵抗できず、柱下部の軸方向鉄筋が降伏する前に重ね継手部で破壊することが分かった。

表-3 耐力・じん性率

供試体No.	降伏荷重(tf)	降伏曲げモーメント(tf-m)			最大荷重(tf)	終局曲げモーメント(tf-m)			降伏変位(mm)	終局変位(mm)	じん性率 μ
	P_y (実験)	M_{ye} (実験)	M_{yc} (計算)	M_{ye}/M_{yc}	P_u (実験)	M_{ue} (実験)	M_{uc} (計算)	M_{ue}/M_{uc}	δ_{ye}	δ_{ue}	
1	9.40	12.69	12.99	0.98	13.10	17.69	15.68	1.13	5.1	67.9	13.3
2	9.80	13.23	12.83	1.03	12.34	16.66	15.56	1.07	6.2	58.0	9.4
3	10.05	13.57	13.20	1.03	12.83	17.32	16.14	1.07	6.3	71.3	11.3
4	9.70	13.10	13.30	0.98	12.64	17.06	16.36	1.04	6.7	70.9	10.6
5	—	—	12.82	—	5.49	7.41	15.70	—	—	—	—

6. おわりに

今回の試験から得られた結果をまとめると、以下の通りである。

- (1) 鋼管鉄筋コンクリート柱の終局変位に与える鋼管厚の影響は大きく、鋼管厚が大きくなるに従い、終局変位が大きくなる。
- (2) 鋼管厚 $t=2.3\text{mm}$ の場合には、重ね継手長が鋼管鉄筋コンクリート柱の終局変位に与える影響は見られなかった。
- (3) 鋼管厚が $t=0.6\text{mm}$ と小さく重ね継手長も10φと小さい場合、重ね継手部で破壊する。

(参考文献)

- [1] 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)、丸善、平成4年。
- [2] 土木学会：国鉄建造物設計標準解説、鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物、昭和58年2月。
- [3] 吉田佳、石橋忠良、梅田孝夫、工藤伸司：繰り返し曲げを受ける合成鋼管柱の変形性能に関する実験的研究、第15回コンクリート工学年次論文報告集、平成5年6月。