

# 報告 スライム含有杭-柱接合部耐力試験について

齋藤 貴\*1・野澤 伸一郎\*2・古谷 時春\*3・鷹野 秀明\*4

要旨：地中梁をなくした1柱1杭形式ラーメン高架橋のRC杭と鋼管鉄筋コンクリート柱の接合部鋼管内にスライムを含有し、同一断面にて軸方向鉄筋の重ね継手を行う試験体を用い静的曲げ載荷試験を行い、重ね継手長、鋼管厚、スライム下部鋼管長が耐力に与える影響について述べたものである。試験の結果、杭と柱径があまり変わらない範囲でスライム下部鋼管長を伸ばした場合、降伏・最大荷重が高まる。重ね継手長30φ、径厚比(R/t=87)スライム下部鋼管長0.57D(D:杭径)とした時、鋼管をコンクリート断面に換算し、従来のRC設計計算式を用い耐力の評価ができる等が明らかとなった。

キーワード：杭頭処理の省略, スライム, 重ね継手長, スライム下部鋼管長

## 1. はじめに

都市部における連続立体交差に伴う鉄道高架橋の施工においては、用地確保、営業線近接施工、狭い作業スペースと工事用通路との競合等の厳しい制約条件が課せられる。その対策として当社では、ラーメン高架橋の柱を変形性能に優れている鋼管鉄筋コンクリート（鋼管に帯鉄筋としてのみの作用をもたせたもの）とし、鉄筋コンクリート（略称RC）杭と接合する1柱1杭形式（地中梁をなくした構造）の採用を考え、1柱1杭形式ラーメン高架橋の問題点として、杭と柱の接合部について検討を行ってきた [1]。（図-1）

本報告では、1柱1杭形式の接合部において杭頭処理の省略という現場での効率的な施工を考慮し、RC杭と鋼管鉄筋コンクリート柱との接合部鋼管内にスライムを想定したソイルセメントを含有し、そのスライム部分の同一断面において、杭と柱の軸方向鉄筋の重ね継手を行う試験体（A試験）、また、スライム上部で重ね継手を行う試験体（B試験）において、所要の耐力を満足する重ね継手長、鋼管厚、スライム下部鋼管長を求めることを目的とした。

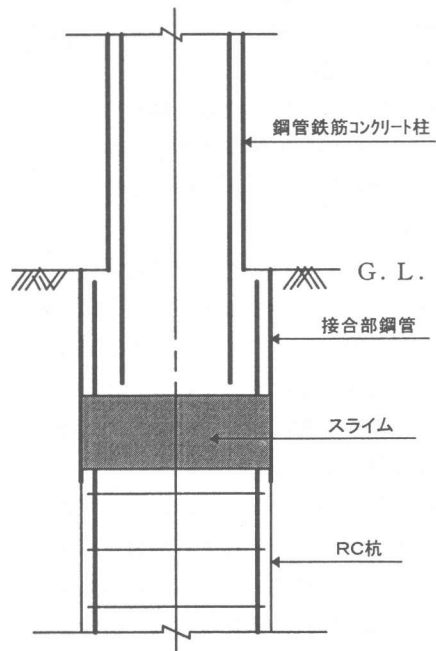


図-1 1柱1杭形式高架橋

- \* 1 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室 課員 (正会員)
- \* 2 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室 室長
- \* 3 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 工事管理室 課長代理 (正会員)
- \* 4 東日本旅客鉄道(株) 上信越工事事務所 工事第2課 主席 (正会員)

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体形状及び諸元

試験は、A試験及びB試験の2つの試験を行った。

A試験の試験体形状寸法を図-2、試験体諸元を表-1に示す。

A試験に先立ち、試験体寸法は実構造物の1/3モデルに出来るだけ近いものとなる様、鋼管寸法やRCの配筋等を決定した。

試験体は全長300cmで、杭部外径380φ、柱部外径350φとなっており、柱部の100cm部分及び接合部40cmが鋼管鉄筋コンクリートとなっているが、杭と柱の接合部の中心20cm部分にスライムを想定したソイルセメント(表-2)を含有している。

配筋については、杭部の軸方向鉄筋にD13を40本鋼管内に埋込み、帯鉄筋はD13を15cmピッチに配筋している。

柱部については、大部分は鋼管鉄筋コンクリートであるが、軸方向鉄筋D13を20本、支点部には帯鉄筋D13を20cmピッチに配筋している。また、杭と柱の接合部の鋼管内で軸方向鉄筋の重ね継手を行っている。

鋼管及び軸方向鉄筋には、ワイヤストレインゲージをそれぞれ30箇所貼付し(図-3)測定した。ゲージの貼付方向については、鋼管は円周・材軸方向の2軸ゲージ、鉄筋は材軸方向1軸ゲージとした。

スライムを含有した接合部において、鋼管厚(t)及び重ね継手長(l)をパラメータとした試験体6体を用い耐力を確認する試験を行った。

また、A試験に使用した材料種類、材料試験結果を表-3に示す。

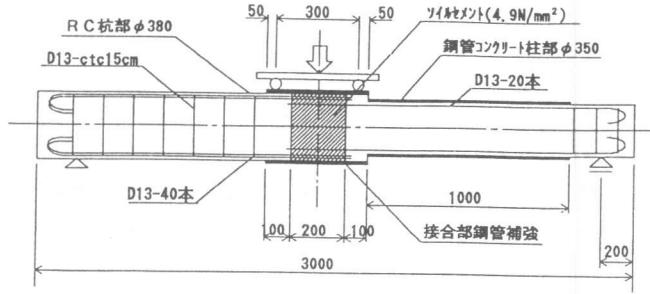


図-2 試験体形状及び载荷状況図

表-1 試験体諸元

単位(mm)

試験体 No.	鋼管内径 D	鋼管厚 t	重ね継手長 l	鉄筋径 φ	l/φ	t/D %	帯鉄筋比 %
A-1	380.0	2.2	390.0	D13	30.0	0.58	1.16
A-2	380.0	1.2	390.0	D13	30.0	0.32	0.63
A-3	380.0	2.2	260.0	D13	20.0	0.58	1.16
A-4	380.0	1.2	260.0	D13	20.0	0.32	0.63
A-5	380.0	2.2	130.0	D13	10.0	0.58	1.16
A-6	380.0	1.2	130.0	D13	10.0	0.32	0.63

※柱鋼管径=350mm、柱鋼管厚=杭鋼管厚

表-2 ソイルセメント配合

セメント Kg	ベントナイト Kg	細骨材 Kg	混練材 Kg	ポソリス No.8 g	アルミ粉 g	フロー値 cm	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>
289	72	1083	451	578	28.9	19±3	4.9

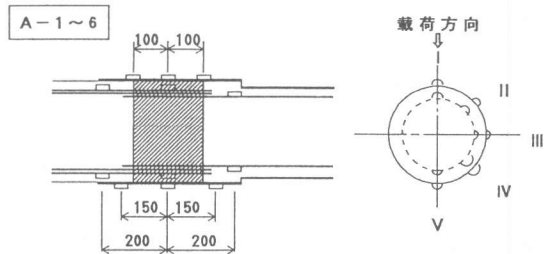


図-3 ひずみゲージ配置図

表-3 材料強度

(単位: N/mm<sup>2</sup>)

種類	厚さt(mm)	降伏強度	引張強度	降伏点ひずみ(μ)			
接合部鋼管 (SS400)	1.2	262	341	1580			
	2.2	374	476	1700			
鉄筋(D13) (SD345)	—	368	494	2100			
No.	圧縮強度						
	種類	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6
	ソイルセメント	2.4	12.3	5.6	2.4	9.9	9.5
	柱コンクリート	34.0	22.6	30.2	35.9	31.6	31.3
	杭コンクリート	39.3	36.7	31.4	42.7	35.4	33.5

B試験についてはA試験の結果を参考に、試験体全長、鋼管厚、重ね継手長等についてA-1試験体と整合を図るとともに、実施工を考慮した重ね継手位置に改善した。試験体形状は、接合部の耐力を評価するため杭、柱とも同径として決定した。

試験体形状寸法を図-4、試験体諸元を表-4に示す。試験体全長は、A試験と同じく300cm、外径は杭部、柱部とも350φとなっており、柱部の62cm部分及び接合部40+30+Lcmが鋼管鉄筋コンクリートとなっている。また、A試験より厳しい条件（スライム分布幅、圧縮強度）となるよう試験体中心30cm部分に、スライムを想定したソイルセメント（表-5）を含有している。

配筋は、鉄筋の降伏をより正確に把握するため、杭部の軸方向鉄筋D13を16本、帯鉄筋はD13を15cmピッチに配筋している。柱部については、軸方向鉄筋D13を16本、支点部には帯鉄筋D13を20cmピッチに配筋し、杭と柱の接合部鋼管内で軸方向鉄筋の重ね継手（30φ）を行っている。

鋼管及び軸方向鉄筋には、A試験と同方向に、ワイヤストレーンゲージを、それぞれ25~45箇所貼付し（図-5はB-3を示す。）測定を行い、スライム下部鋼管長（L）をパラメータとした試験体4体を用い、A試験同様、耐力の確認試験を行った。B試験に使用した材料種類、材料試験結果を表-6に示す。

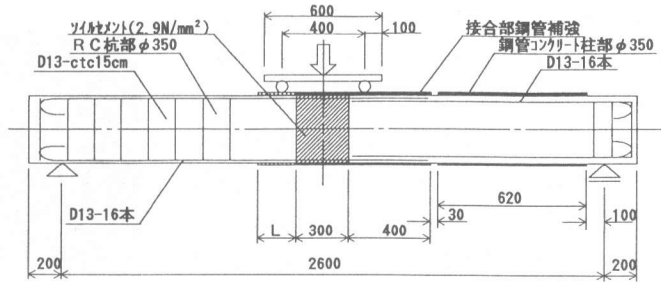


図-4 試験体形状及び荷況図

表-4 試験体諸元

試験体 No.	鋼管内径 D	鋼管厚 t	スライム下部 鋼管長L	重ね継手長 l	鉄筋径 φ	l/φ	t/D %	単位(mm)
								帯鉄筋比 %
B-0	350.0	2.0	—	390.0	D13	30.0	0.57	1.14
B-1	350.0	2.0	0.0	390.0	D13	30.0	0.57	1.14
B-2	350.0	2.0	100.0	390.0	D13	30.0	0.57	1.14
B-3	350.0	2.0	200.0	390.0	D13	30.0	0.57	1.14

※ 柱鋼管径 = 350mm、柱鋼管厚 = 杭鋼管厚  
 ※ 試験体B-0はスライム部鋼管なし、重ね継手部鋼管あり

表-5 ソイルセメント配合

セメント Kg	ベントナイト Kg	細骨材 Kg	混練材 Kg	ポリスリノ No.8 g	アルミ粉 g	ワ-値 cm	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>
278	70	1093	451	556	27.8	19±3	2.9

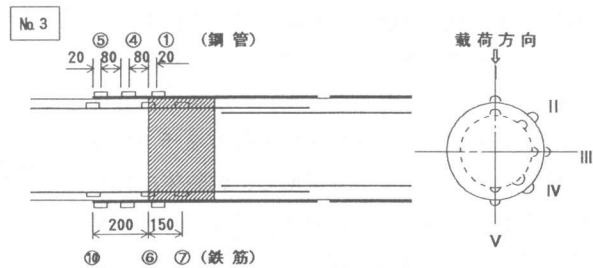


図-5 ひずみゲージ配置図

表-6 材料強度

種類	厚さt(mm)	降伏強度	引張強度	降伏点ひずみ(μ)			
				B-0	B-1	B-2	B-3
接合部鋼管 (SS400)	2.0	366	480	1676			
鉄筋(D13) (SD345)	—	352	484	2000			
種類	No.	圧縮強度					
		B-0	B-1	B-2	B-3		
		ソイルセメント	2.9	2.8	2.8	3.4	
		柱コンクリート	36.4	32.4	32.4	35.2	
杭コンクリート	36.7	38.8	38.8	41.1			

## 2. 2 載荷方法

試験体を水平に設置し、片側ピン、片側ローラー支持にてジャッキによりスパン30cmの中央2点単調載荷で行い、降伏荷重確認後、押し切った。軸方向鉄筋の降伏は、別途行った引張試験結果より、断面の引張縁45°方向の1/4円部分の鉄筋が降伏ひずみ(2100 $\mu$ )に達した時とした(A試験)[2]。B試験については、試験体の支持方法はA試験と同様であるが、載荷スパン40cmの中央2点単調載荷で行った。軸方向鉄筋の降伏は、降伏ひずみ(2000 $\mu$ )に達した時とした。(写真-1はB試験の載荷状況を示す。)

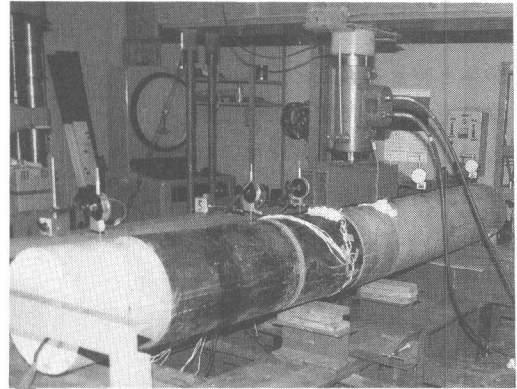


写真-1 載荷状況(B試験)

## 3. 試験結果及び考察

### 3. 1 ひび割れ発生及び破壊状況

#### (1) A試験

試験体 A-1の終局時における下面ひび割れ状況を図-6に示す。載荷荷重 6~7tf で鋼管円周部分とコンクリートの付着部分が離れだし、8tf で杭側のコンクリートに初期曲げひび割れが発生した。この曲げひび割れの進行は15tf位で止まった。

破壊状況は、軸方向鉄筋の重ね継手定着位置により破壊箇所位置に相違があり(図-7)、鋼管厚による破壊箇所の相違は見られなかった。スライム含有部内で定着している重ね継手10 $\phi$ の試験体 A-5,6では、軸方向鉄筋の抜け出しにより破壊し、試験体A-3,4では柱側継手端部において、試験体 A-1,2では杭先端側継手端部でひび割れ幅の増大により破壊に至った。

#### (2) B試験

試験体 B-3の終局時における下面ひび割れ状況を図-8に示す。載荷荷重 4.0tfで鋼管円周方向とコンクリートの付着部分が離れだし、5.5tfで杭側のコンクリートに初期曲げひび割れが発生し、このひび割れの進行は10.5tf位で止まった。

破壊状況は、試験体 B-0はスライム中心部の圧縮側にて圧壊し、打継目部でRC杭側の健全なコンクリートがスライム部に食込み破壊に至った。試験体 B-1~3については、ほぼ同様に、スライム部とRC杭部の引張側打継目にひび割れが集中し、ひび割れ

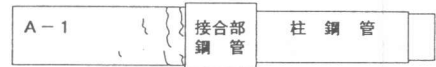
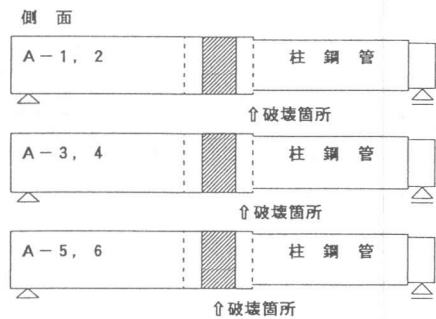


図-6 下面ひび割れ状況図



※破線は接合部鋼管を示している。

図-7 破壊箇所位置図

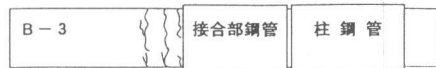
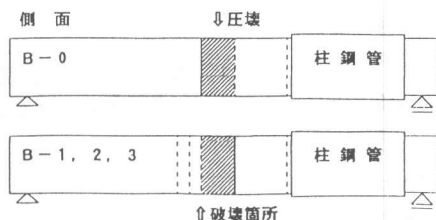


図-8 下面ひび割れ状況図



※破線は接合部鋼管を示している。

図-9 破壊箇所位置図

幅が増大するとともに、圧縮側で打継目が圧壊し破壊に至った。(図-9) A、B試験のひび割れに関する傾向は、重ね継手長30φの試験体について、載荷荷重による相違はあるものの全試験体に共通していた。

### 3. 2 接合部鋼管のひずみ分布

試験体 B-3の軸方向鉄筋降伏時、最大荷重時の接合部鋼管断面の材軸方向、円周方向のひずみ分布をそれぞれ図-10、11に示す。図-10材軸方向より鋼管が圧縮に寄与し、引張側では付着が切れていることが分かる。図-11では、鋼管上側端部で-12000μ程度のひずみが発生し、坐屈により耐荷力を失った。

杭については、設計基準にもよるが、極力弾性範囲内に収め、降伏しても大きな塑性変形を生じさせない設計を検討中である。したがって、柱と杭の接合部は柱、杭本体より強度を大きくし、塑性化させないような検討も必要である。

### 3. 3 荷重-変位曲線

A試験に用いた各試験体の杭と柱の接合部における荷重-変位曲線を図-12に示す。重ね継手長10φの試験体 A-5, 6では、鉄筋が降伏する前に抜け出しにより破壊したため、降伏荷重を確認できなかった。試験体 A-3, 4は、最大荷重に達した後、変位曲線に急激な落下がみられたが、試験体 A-1, 2は荷重を維持していた。鋼管厚は、試験体 A-1, 2では、他の試験体に比べ逆転してはいるが、降伏・最大荷重を高める傾向にあることがわかった。

B試験における荷重-変位曲線を図-13に示す。スライム部鋼管なしの試験体 B-0は、最大荷重に達した後、圧縮側スライムの圧壊により荷重を維持できず変位曲線が暫減した。試験体 B-3は最大荷重に至るまで、荷重を維持していた。試験体 B-1, 2は、載荷の際、荷重が安定する前に載荷を持続して行ったため最大荷重を確認できなかった。

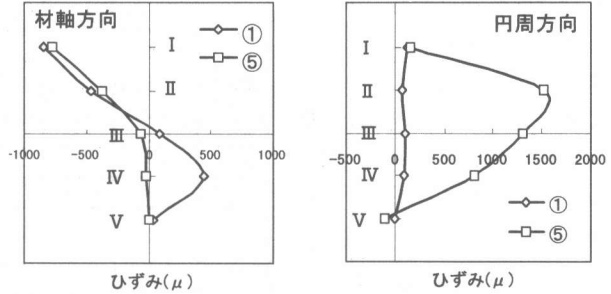


図-10 鉄筋降伏時の鋼管のひずみ分布

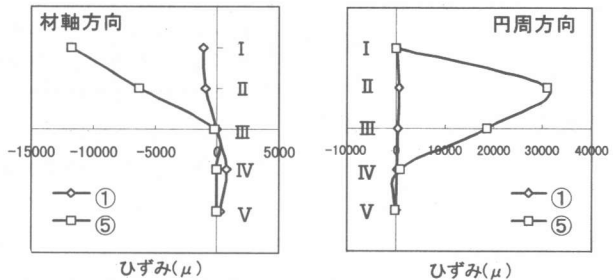


図-11 最大荷重時の鋼管のひずみ分布

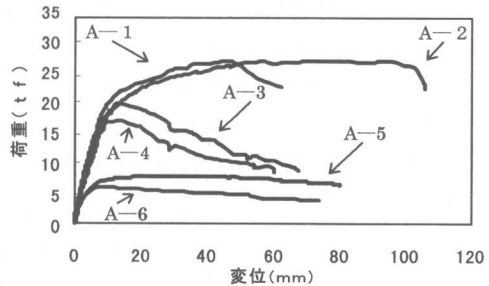


図-12 荷重-変位曲線(A試験)

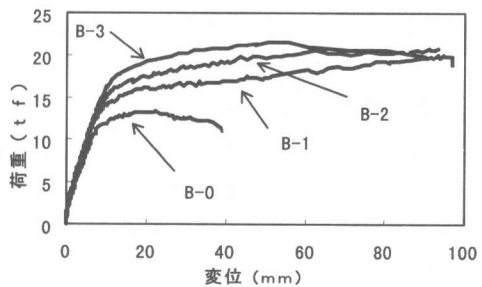


図-13 荷重-変位曲線(B試験)

### 3. 4 降伏耐力及び終局耐力

A試験及びB試験の降伏及び終局耐力の実験値とRC断面の計算値 [2] を表-7 に示す。降伏及び終局耐力の算定に際しては、簡易な計算法として、鋼管厚にヤング係数比 ( $E_s/E_c=7$ ) を乗じて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 0.0035 として求めた。材料係数、安全係数等は 1.0 とした。

A試験では、重ね継手長 30φ の試験体 A-1, 2 以外は終局耐力を満足しないことがわかった。また、B試験では、スライム下部鋼管長伸ばすことにより降伏・最大荷重が高まることが確認された。

表-7 降伏・終局耐力

試験体	降伏荷重 P <sub>y</sub> (tf)	降伏耐力 M <sub>y</sub> (tfm)			終局荷重 P <sub>max</sub> (tf)	終局耐力 M <sub>u</sub> (tfm)		
		実験値 M <sub>ye</sub>	計算値 M <sub>yp</sub>	M <sub>ye</sub> /M <sub>yp</sub>		実験値 M <sub>ue</sub>	計算値 M <sub>up</sub>	M <sub>ue</sub> /M <sub>up</sub>
A-1	16.45	9.46	11.46	0.83	29.26	16.82	14.66	1.15
A-2	18.50	10.63	10.63	1.0	29.12	16.74	13.34	1.25
A-3	20.18	11.60	11.34	1.02	21.57	12.40	14.46	0.86
A-4	17.33	9.96	11.07	0.9	18.53	10.65	14.15	0.75
A-5	—	—	11.39	—	8.42	4.84	14.54	0.33
A-6	—	—	10.94	—	6.60	3.80	13.94	0.27
B-0	10.49	5.77	7.32	0.79	13.4	7.37	9.33	0.79
			6.09	0.95			6.64	1.11
B-1	12.99	7.14	7.36	0.97	(20.00)	(11.00)	9.39	(1.17)
			6.18	1.56			6.67	(1.65)
B-2	13.39	7.36	7.85	0.94	(20.80)	(11.06)	10.00	(1.11)
			6.18	1.19			6.67	(1.66)
B-3	15.16	8.34	7.89	1.06	21.52	11.84	10.08	1.17
			6.23	1.34			6.86	1.73

※ ( )内は最大荷重が確認できなかったため参考として示している。  
 ※ B試験の表中、上段は載荷点直下、下段はスライム部を示している。

### 4. まとめ

1 柱 1 杭形式の接合部における杭頭処理を省略する簡易接合法の開発のために、鋼管厚 (t) と軸方向鉄筋の重ね継手長 (l) をパラメータとした A 試験、スライム下部鋼管長 (L) のみをパラメータとした B 試験により、スライムを含有した接合部の耐力の確認試験を行った。杭と柱径があまり変わらない範囲で行った、本実験及びデータ解析により得られた主な点を以下に示す。

- ① スライムを含有した杭と柱の接合部では、重ね継手定着位置により破壊箇所相違を生じる。
- ② 柱と杭の軸方向鉄筋の重ね継手長が 30φ 以上あり、かつ、接合部を鋼管で巻くことにより、スライムを含有した接合部で破壊しない。
- ③ スライム下部鋼管長を伸ばすことにより、接合部の降伏・最大荷重が高まる。
- ④ スライムを含有した接合部において、杭と柱の軸方向鉄筋の重ね継手長 30φ、径厚比 ( $R/t=87$ )、スライム下部鋼管長  $0.57D$  ( $D$ : 杭径) とした時、接合部鋼管をコンクリート断面に換算し、従来の RC 設計計算式を用いて耐力の評価ができる。

### 5. 今後の課題

スライムを含有し、同一断面において杭と柱の軸方向鉄筋の重ね継手を行い、接合部を鋼管巻きとした構造の試験体で、杭径と柱径を変えた同様の試験及び交番載荷試験を行うことにより、寸法効果あるいはじん性への影響等について適正に評価した設計手法の確立を目指したい。

#### 参考文献

- [1] 鷹野 秀明ほか：土木学会第50回年次学術講演会講演概要集 V-391, pp782~783, 1995, 9
- [2] 財団法人 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物