

場所打ちPRC杭工法に用いたUターン方式 PC鋼より線の定着性能に関する研究

田辺 恵三*1・蓮井 武*2

1. 緒 論

1.1 研究の目的

場所打ちコンクリート杭は、ほとんどがRC杭であり、耐震杭工法として適用する場合は杭頭部の一部分を鋼管と複合させた場所打ち鋼管コンクリート杭が一般化されている。これらの場所打ち杭工法の定着継手は、杭頭部においてすべて鉄筋継手で施工されており、上部構造体柱脚部と杭体の接合部は継手が集中する結果、杭頭部の応力集中とその施工上の信頼性の問題が指摘されている。平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震の調査結果、特に、基礎構造体の杭頭部に集中して杭頭破壊や残留ひび割れの事例が多く報告されている。

本研究における工法は、場所打ちRC杭体に完全防錆型のPC鋼より線を用いてプレストレスの導入によって基礎構造と杭体の一体化を図った場所打ちPRC杭（以下、KTPC耐震杭と記す）工法である。

本工法は、杭体に作用する引抜き力や衝撃的荷重（特に、上下地震動）に対して、基礎・杭体の接合部が鉄筋継手による局部集中の引張応力を避けるため、エポキシ樹脂全塗装アンボンドPC鋼より線（以下、アンボンドSCストランドと記す）を使用してプレストレスを導入することによって、①杭頭破壊の防止、②終局耐力の向上、③杭体の耐久性の向上を図るものである。

本研究は、KTPC耐震杭工法の杭体内アンカー部の球状耐荷体にPC鋼材（アンボンドSCストランド）をUターン定着させた場合のPC鋼材の材料特性、およびプレストレス力導入時における荷重分散型球状耐荷体定着部近傍のコンクリートの応力性状を把握するために実験を行い、その性状を明らかにするものである。

1.2 本工法の概要

KTPC耐震杭の構成は、図-1に示すように①フーチング、②場所打ち鉄筋コンクリート杭体、③導入する緊張定

着体（KTB定着工法）、④PC鋼より線（アンボンドSCストランド15.2φ）および球状耐荷体より構成されている。

PC鋼より線は、図-2に示すように素線にエポキシ樹脂塗装を施した3重防錆のアンボンドSCストランド15.2φ（SC-U1）を使用する。7本より線15.2φ（SWPR7B）のJIS規格値とSCストランドの機械的性質を表-1に示す。

アンボンドSCストランドの0.2%永久伸びに対する荷重（以下、降伏点荷重と記す）、引張荷重、破断伸びは表-2に示すように、JIS規格値に対して、いずれも向上していることがわかる。

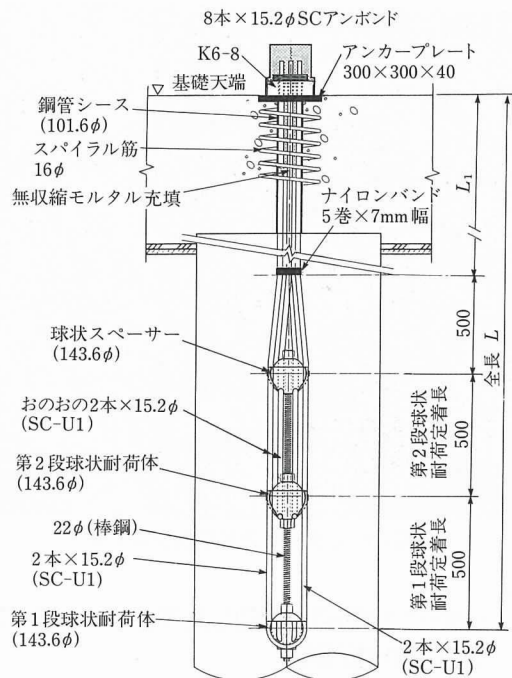


図-1 KTPC耐震杭工法の定着概要図

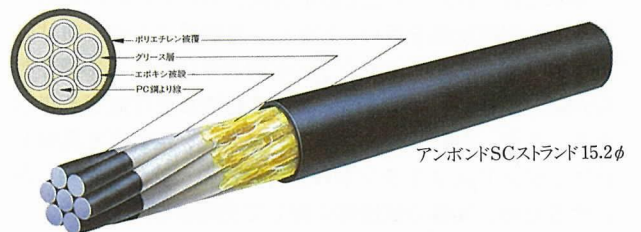


図-2 3重防錆のアンボンドSCストランド形成図

コンクリート杭体内のPCアンカー部の緊張力の伝達方法は、荷重分散型の杭体内定着システムであり、球状耐荷体の外周におのおの2本xアンボンドSCストランド15.2φをUターン曲げ加工により固定させた耐荷体定着ユニットを50cm間隔に配置し、各ユニットのストランドに緊張力を与



*1 Keizo TANABE

黒沢建設(株) 常務取締役
設計部長 工博



*2 Takeshi HASUI

黒沢建設(株) 取締役 技術部長

表-1 ストランドの材料特性

	記号	呼び名	降伏点荷重 kgf(KN)	引張荷重 kgf(KN)	破断伸び (%)	リラクゼーション値 (%)
JIS規格	SWPR7B	7本より 15.2mm	22,600 (222)以上	22,600 (261)以上	3.5以上	8.0以下
SCストランド			25,900 (254)	27,630 (271)	7.5	3.75

表-2 SCテンドンの諸元

ストランド径	ストランドの本数 (n)	アンカーヘッド ユニット	PC鋼材の断面積 (mm ²)	引張荷重 P_u tf(KN)	降伏荷重 P_y tf(KN)	許容引張荷重	
						プレストレス導入時 $0.85P_y$ (tf(KN))	定着完了時 $0.8P_y$ (tf(KN))
φ 15.2mm	8	K6-8	1 109.6	212.8 (2 087)	180.8 (1 773)	153.7 (1 507)	144.6 (1 418)

えることにより、杭体内に緊張力を分散させる方法である。球状耐荷体の前面は確実にコンクリートを充填させるため、ストランドの芯間隔 (62.13mm) は、各耐荷体間は平行に保持されるように球状スペーサー、接続用ロット (棒鋼) を配置している (写真-1)。

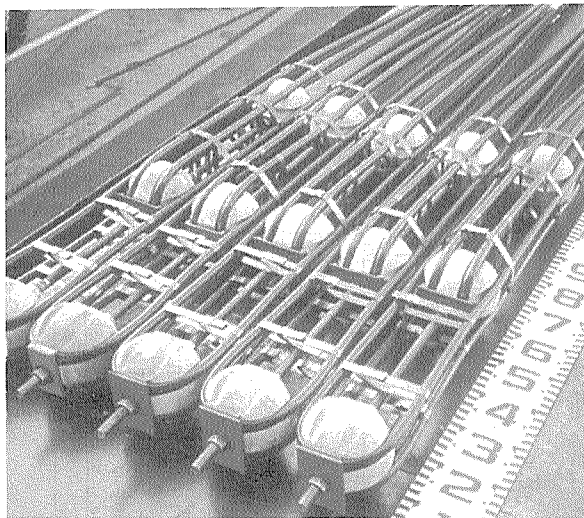


写真-1 Uターン方式定着システム

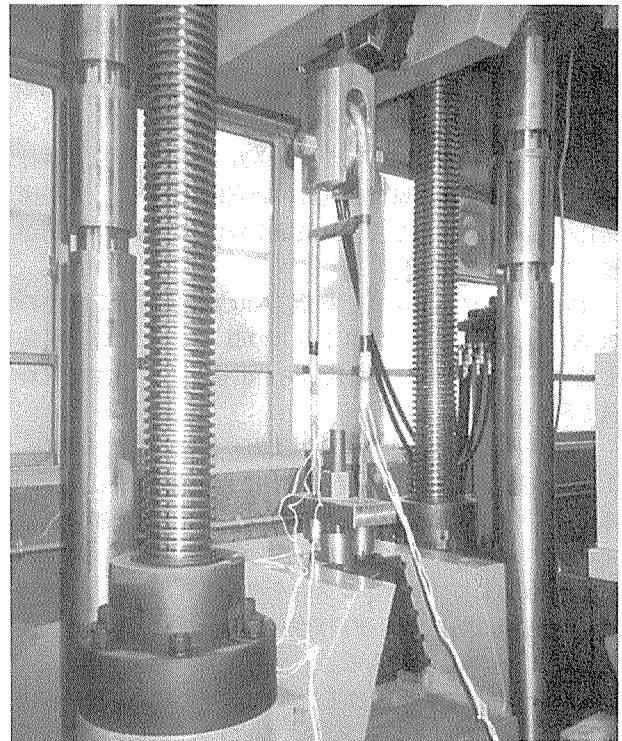


写真-2 引張試験機

2. Uターン定着部を模擬したアンボンドSCストランドの引張試験

2.1 試験概要

本章では、Uターン定着部を模擬したアンボンドSCストランドの引張試験を行い、Uターン定着部における曲げ直径がアンボンドSCストランドの材料特性に与える影響を明らかにし、Uターン定着部における適切な曲げ直径を提示する。また、提示した曲げ直径のUターン定着部を模擬したアンボンドSCストランドの材料特性のバラツキを明らかにするため、30体の試験体に対して引張試験を行った。

2.2 試験方法

引張試験は、北海鋼機(株)の引張試験機を使用して行った (写真-2)。

加力方法は図-3に示すように、引張試験用UターンシーブによってアンボンドSCストランドをUターンさせてストランドの両端部をくさび定着させ、上部と下部に治具を用いて引張試験機に設置した。

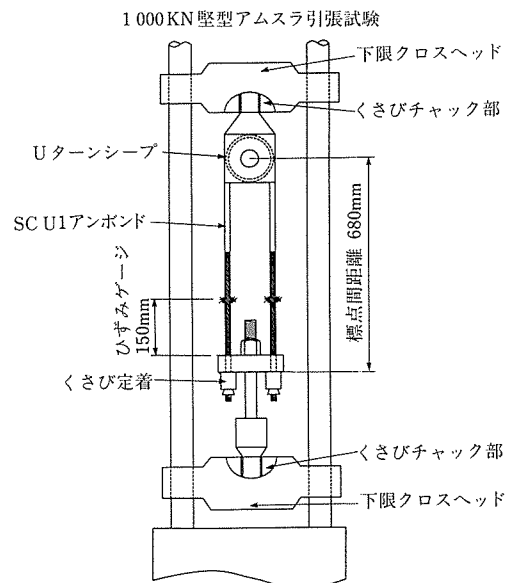


図-3 加力装置図

Uターンしたストランドにはひずみゲージを左と右に1点ずつ貼付した(1点に対してひずみゲージ2枚を断面において対称に貼付した)。計測は、30KNの荷重増分ごとに行い、ストランドに貼付した合計4枚のひずみゲージの平均値に対して、荷重-ひずみ関係を求めた。

2.3 試験結果

Uターン定着部の大きさは、杭径1200φの鉄筋籠内において、コンクリート打設時のトレミー管とのクリアランス、およびアンボンドSCストランド間クリアランス(4cm以上)を満たした施工可能な球状定着部のテンドン芯間隔を150mmとし、これをもとにシーブ径を131φに決定した。

表-3に曲げ半径を131φとしたUターン定着部を模擬したアンボンドSCストランドの降伏点荷重、引張強度、破断伸びおよび破断状況を示す。また表-1で示したJIS規格およびアンボンドSCストランドの降伏点荷重に対するUターン定着部を模擬したアンボンドSCストランドの降伏点荷重との差の比率を降伏点荷重増減率とし、JIS規格およびアンボン

ドSCストランドの引張荷重に対するUターン定着部を有するアンボンドSCストランドの引張荷重との差の比率を引張荷重増減率として表-3に示す。

これらのことから、以下のことが明らかとなった。

- ① 破断は全試験体ともに、アンボンドSCストランドとシーブが接触する始点において発生した。
- ② Uターン定着部を有するアンボンドSCストランドの降伏荷重は、JIS規格値より約3~8%大きい、実降伏荷重より約6~10%小さい。
- ③ Uターン定着部を有するアンボンドSCストランドの引張荷重は、JIS規格値より約3~7%、実引張荷重より約6~10%小さい。

また、30個の試験体の降伏点荷重、引張荷重、破断伸びのバラツキを示すヒストグラムをそれぞれ図-4~6に示す。降伏点荷重、引張荷重および破断伸びともに、その値は3σ以内にあり、バラツキの少ない安定した結果を示している。

表-3 引張試験結果

試料 No.	降伏点荷重 (Y) KN	引張荷重 (P) KN	破断伸び (%)	破断状況		荷重増減率(%)				備考
				破断箇所	破断素線数 (本)	降伏点荷重増減率		引張荷重増減率		
						(A)JIS規格値(Y _u)を基準とした場合	(B)実荷重(Y _o)を基準とした場合	(C)JIS規格値(P _u)を基準とした場合	(D)実荷重(P _o)を基準とした場合	
1	475	507	4.2	シーブ先端	2	7.0	-6.5	-2.9	-6.5	
2	470	488	3.9	シーブ先端	2	5.9	-7.5	-6.5	-10.0	
3	470	497	3.8	シーブ先端	1	5.9	-7.5	-4.8	-8.3	
4	470	502	4.2	シーブ先端	3	5.9	-7.5	-3.8	-7.4	
5	480	506	4.1	シーブ先端	2	8.1	-5.5	-3.1	-6.6	
6	475	505	4.4	シーブ先端	2	7.0	-6.5	-3.3	-6.8	
7	476	503	4.4	シーブ先端	2	7.2	-6.3	-3.6	-7.2	
8	473	502	4.5	シーブ先端	1	6.5	-6.9	-3.8	-7.4	
9	473	506	5.0	シーブ先端	1	6.5	-6.9	-3.1	-6.6	
10	475	501	4.5	シーブ先端	2	7.0	-6.5	-4.0	-7.6	
11	476	506	4.8	シーブ先端	2	7.2	-6.3	-3.1	-6.6	
12	465	495	4.1	シーブ先端	3	4.7	-8.5	-5.2	-8.7	
13	463	487	3.9	シーブ先端	2	4.3	-8.9	-6.7	-10.1	
14	460	490	4.5	シーブ先端	2	3.6	-9.4	-6.1	-9.6	
15	464	493	3.7	シーブ先端	3	4.5	-8.7	-5.6	-9.0	
16	457	485	3.8	シーブ先端	1	2.9	-10.0	-7.1	-10.5	
17	471	502	4.5	シーブ先端	3	6.1	-7.3	-3.8	-7.4	
18	456	488	4.2	シーブ先端	2	2.7	-10.2	-6.5	-10.0	
19	465	491	4.4	シーブ先端	3	4.7	-8.5	-5.9	-9.4	
20	478	497	4.0	シーブ先端	3	7.7	-5.9	-4.8	-8.3	
21	470	501	4.1	シーブ先端	2	5.9	-7.5	-4.0	-7.6	
22	478	504	4.4	シーブ先端	2	7.7	-5.9	-3.4	-7.0	
23	468	491	3.9	シーブ先端	2	5.4	-7.9	-5.9	-9.4	
24	465	485	3.7	シーブ先端	2	4.7	-8.5	-7.1	-10.5	
25	475	498	4.0	シーブ先端	2	7.0	-6.5	-4.6	-8.1	
26	475	493	3.9	シーブ先端	1	7.0	-6.5	-5.6	-9.0	
27	468	489	4.0	シーブ先端	3	5.4	-7.9	-6.3	-9.8	
28	468	497	4.1	シーブ先端	3	5.4	-7.9	-4.8	-8.3	
29	475	506	4.6	シーブ先端	2	7.0	-6.5	-3.1	-6.6	
30	475	498	4.1	シーブ先端	2	7.0	-6.5	-4.6	-8.1	
平均	470.3	497.1	4.2	-	-	5.9	-7.4	-4.8	-8.3	

※

$$1 \quad A = \frac{Y - (Y_u \times 2)}{Y_u \times 2} \times 100$$

$$3 \quad C = \frac{P - (P_u \times 2)}{P_u \times 2} \times 100$$

降伏点荷重JIS規格値 (Y_u) : 222

引張荷重JIS規格値 (P_u) : 261

SCストランド実降伏点荷重 (Y_o) : 254

SCストランド実引張荷重 (P_o) : 271

$$2 \quad B = \frac{Y - (Y_o \times 2)}{Y_o \times 2} \times 100$$

$$4 \quad D = \frac{P - (P_o \times 2)}{P_o \times 2} \times 100$$

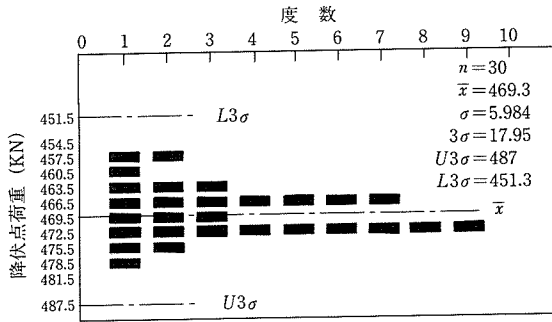


図-4 降伏点荷重に関するヒストグラム

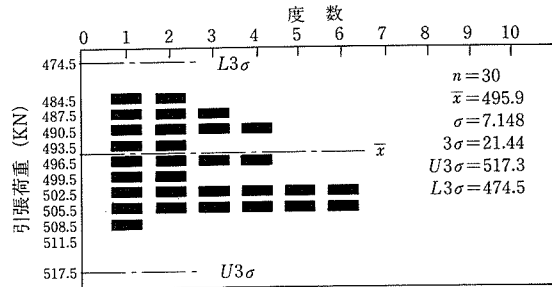


図-5 引張荷重に関するヒストグラム

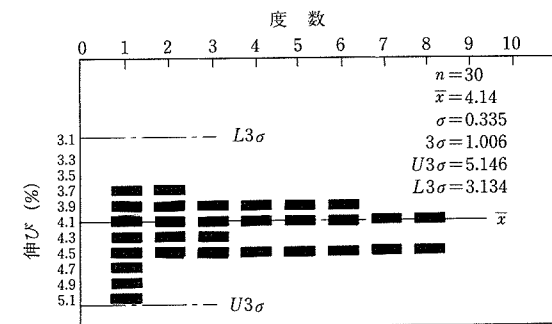


図-6 破断伸びに関するヒストグラム

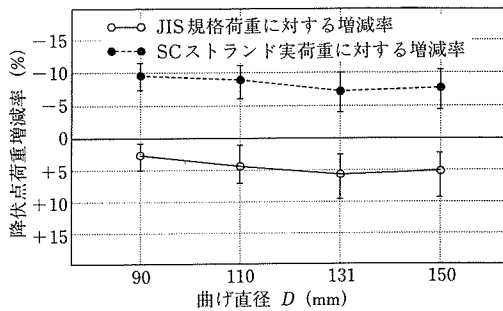


図-7 降伏点荷重増減率と曲げ直径の関係

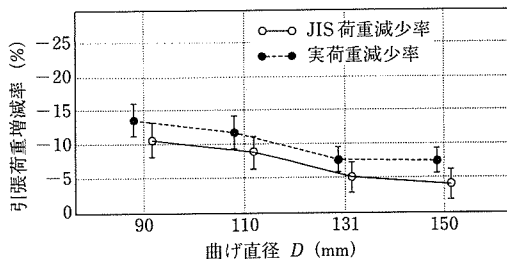


図-8 引張荷重増減率と曲げ直径の関係

曲げ直径と降伏点荷重および引張荷重に対する荷重増減率の傾向を予備実験によるものを参考値として図-7, 8に示した。

3. プレストレス力導入試験

3.1 試験概要

本章では、実物の場所打ちコンクリート杭体の鉄筋筵内にSC tendonが最小間隔に配置された状態を模擬した試験体に対して、本荷重分散型定着システムを用いたプレストレス力導入試験を行い、球状耐荷体近傍のコンクリートの応力状態を明らかにすることを目的とする。

3.2 試験方法

図-9に試験体図を、図-10にひずみゲージ位置図を示す。接続ロットは、コンクリート断面中央のひずみ測定のため、球状耐荷体とは絶縁させ、コンクリートと一体な挙動となるように棒鋼全長にわたってネジを施した。

表-4に試験体のコンクリート強度試験結果を示す。

図-11に加力装置図を示す。プレストレス力導入は、最下部第1段球状耐荷体を定着部とするストランド(4本×SC-U1)から緊張を開始し、次に第2段球状耐荷体を定着部とするストランド(4本×SC-U1)を緊張する手順で行った。ストランドの緊張力導入は、JIS規格値降伏点荷重 P_y に対して、 $0.1P_y$ ずつ最大緊張力 $0.9P_y$ まで行い、各段階ごとに測定を行った。

3.3 試験結果

図-12に球状耐荷体接続ロット位置(コンクリート断面中心部)のコンクリートひずみ分布、表-5にコンクリートのひずみ分布を示す。

これらのことから、以下のことが明らかとなった。

- ① プレストレス導入力による定着部の応力状態は、第1段球状耐荷体と第2段球状耐荷体に荷重が分散される。
- ② 試験体表層部と球状耐荷体周辺部のコンクリートひずみは、第1段球状耐荷体部を除いて、全長にわたって均等に分布し、No.9の点で 200×10^{-6} を示し、断面の平均圧縮応力度 $\sigma = P/A = 57.6 \text{ kgf/cm}^2$ に対し、 $\sigma = 2.94 \times 10^5 \times 200 \times 10^{-6} = 58.8 \text{ kgf/cm}^2$ (5.76 N/mm^2)と、ほぼ等しい値を示した。
- ③ 定着体近傍の最大圧縮応力は、第2段球状耐荷体直下(No.5)部に生じ、プレストレス導入力 144 tf/c に対し、最大ひずみは 424×10^{-6} の値を示し、このコンクリート圧縮応力度は $\sigma_c = 124.7 \text{ kgf/cm}^2$ (12.2 N/mm^2)であった。通常の定着体の支圧応力度($\sigma_c \geq 210 \text{ kgf/cm}^2$)に対して小さい応力を示す。
- ④ 本荷重分散型Uターン定着システムは、比較的小さい応力を示していることから、局所的な補強筋を用いなくても、場所打ちコンクリート杭体に使用できる。

4. 結論

曲げ直径を 131ϕ としたUターン定着部を模擬したアンボンドSCストランドの引張試験については、以下のことが明らかとなった。

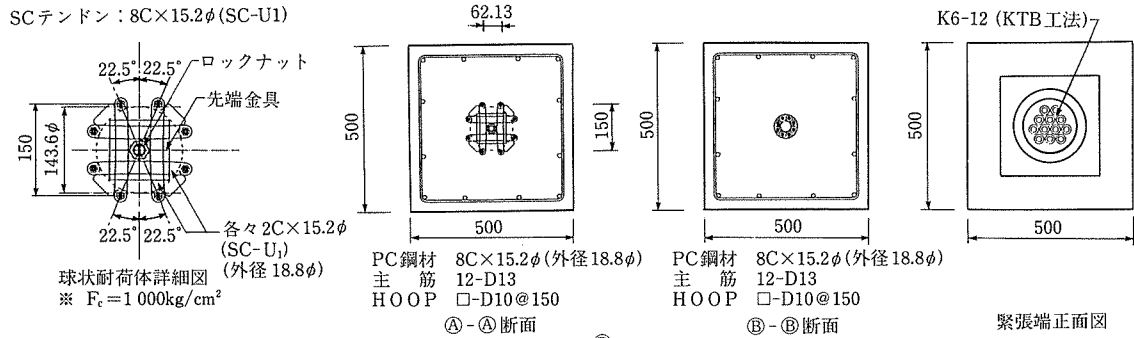


図-9 試験体図

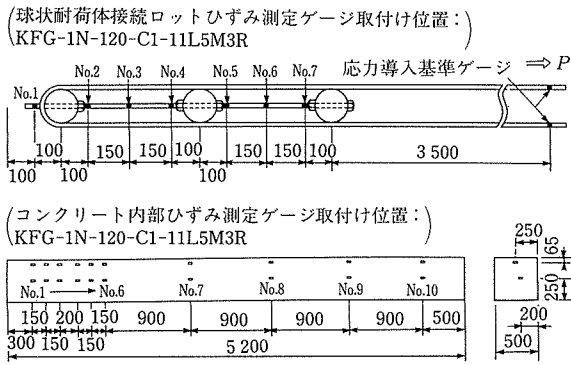


図-10 ひずみゲージ位置図

表-4 コンクリート圧縮強度試験結果

材齢	kgf/cm ² (N/mm ²)			
	7日	14日	21日	28日
テストピース				
No.1	299(29.3)	343(33.6)	418(41.0)	425(41.7)
No.2	310(30.4)	330(32.4)	409(40.1)	419(41.1)
No.3	300(29.4)	343(33.6)	395(38.7)	417(40.9)
平均値	300(29.4)	339(33.2)	407(39.9)	420(41.2)

静弾性係数(Ec): 2.94 x 10⁵ kgf/cm² (2.88 x 10⁴ N/mm²)

- 破断は全試験体ともに、アンボンドSCストランドとシーブが接触する始点において発生した。
- Uターン定着部を有するアンボンドSCストランドの降伏荷重は、JIS規格値より約3~8%大きい、実降伏荷重より約6~10%小さい。
- Uターン定着部を有するアンボンドSCストランドの引張荷重は、JIS規格値より約3~7%、実引張荷重より約6~10%小さい。

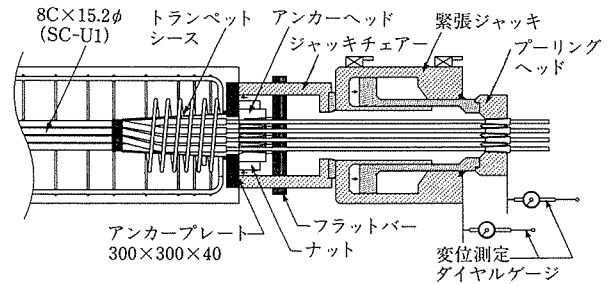


図-11 加力装置図

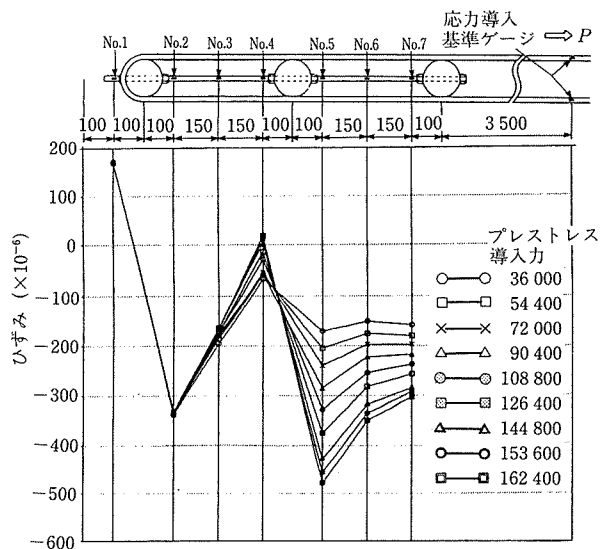


図-12 球状耐荷体接続ロットのひずみ分布

表-5 コンクリートのひずみ分布

基本導入応力 (tf)	試験年月日 平成8年9月26日							(上段:表層部近傍,下段:球状耐荷体近傍)									
	球状耐荷体接続ロットひずみ(×10 ⁻⁶)							コンクリートひずみ測定値【ゲージごと】(×10 ⁻⁶)									
	1	2	3	4	5	6	7	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
18.4	-170	335	196	90	141	130	141	84	97	103	122	117	115	121	121	95	96
								93	103	95	110	115	108	112	109	94	101
36.0	-170	339	194	69	171	150	159	83	98	105	133	129	128	136	134	104	107
								94	103	93	125	129	120	125	122	105	112
54.4	-170	336	186	60	205	174	178	82	96	110	146	139	140	149	148	117	117
								93	100	92	139	144	132	139	134	117	124
72.0	-170	335	181	54	240	197	197	83	94	112	155	153	153	163	161	129	128
								92	98	99	155	158	146	152	148	130	134
90.4	-171	335	176	42	284	223	218	81	95	115	168	168	180	181	180	138	138
								94	98	100	171	175	160	167	161	141	148
108.8	-171	334	173	30	328	255	239	84	96	119	179	181	181	195	195	150	151
								91	97	99	186	191	182	180	175	154	160
126.4	-170	334	170	16	376	284	259	82	98	119	189	190	190	192	191	161	168
								92	97	101	191	196	195	197	195	191	198
144.8	-171	332	164	-1	424	316	282	83	98	122	197	210	220	220	220	179	179
								95	103	104	202	202	200	201	201	200	201
153.6	-172	331	165	-10	456	334	292	84	97	123	214	233	231	233	231	189	195
								94	99	111	225	231	206	213	208	199	200
162.4	-171	333	162	-18	478	350	302	83	98	131	218	239	235	238	240	201	218
								95	104	125	233	238	214	219	214	210	207

④ 30個の試験体の降伏点荷重, 引張荷重, 破断伸びのバラツキを調べると, 降伏点荷重, 引張荷重および破断伸びともその値は3σ以内にあり, バラツキの少ない安定した結果となった。

プレストレス力導入試験については, 以下のことが明らかとなった。

⑤ プレストレス導入力による定着部の応力状態は, 第1段球状耐荷体と第2段球状耐荷体に荷重が分散される。

⑥ 試験体表層部と球状耐荷体周辺部のコンクリートひずみは, 第1段球状耐荷体部を除いて, 全長にわたって均等に分布し, No.9の点で200×10⁻⁶を示し, 断面の平均圧縮応力度 $\sigma = P/A = 57.6 \text{ kgf/cm}^2$ に対し, $\sigma = 2.94 \times 10^5 \times 200 \times 10^{-6} = 58.8 \text{ kgf/cm}^2$ (5.76N/mm²) と, ほぼ等しい値を示した。

⑦ 定着体近傍の最大圧縮応力は, 第2段球状耐荷体直下 (No.5) 部に生じ, プレストレス導入力144tf/cに対し, 最大ひずみは424×10⁻⁶の値を示し, このコンクリート圧縮応力度は $\sigma_c = 124.7 \text{ kgf/cm}^2$ (12.2N/mm²) であった。通常の定着体の支圧応力度 ($\sigma_c \geq 210 \text{ kgf/cm}^2$) に対して小さい応力を示す。

⑧ 本荷重分散型Uターン定着システムは, 比較的小さい応力を示していることから, 局部的な補強筋を用い

なくても, 場所打ちコンクリート杭体を使用できる。

これらの試験結果から, 本Uターン定着システムは, これまでの緊張定着具の性能と同等であることが確認できた。

謝 辞

本論文は, (社)建築研究振興協会の委託研究として, 平成6年6月~平成9年7月までの3年間にわたり, 岸田英明 東京理科大学教授を委員長とする場所打ちPRC杭 (KTPC工法) 研究委員会における委託者の黒沢建設(株), 東洋テクノ(株), 利根地下技術(株), 大洋基礎(株), 日本基礎工業(株), ヨーコン(株)のうち, 当社が直接, 供試体製作, 実験を担当したコンクリート杭体内のPC鋼材と球状耐荷体の要素実験に関する研究報告である。ここにご指導いただいた大杉文哉委員 (株)久米設計, 加藤博人委員 (建設省建築研究所), 町田重美委員 (株)東京建築研究所, 各委員の方々に深く感謝する次第です。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会近畿支部基礎構造部会, 兵庫県南部地震建築基礎被害調査委員会: 兵庫県南部地震による建築基礎の被害調査事例報告書, 1996.7
- 2) 黒沢亮平: 夢の防錆を実現した超耐久性エポキシ樹脂全塗装PC鋼より線, 橋梁, Vol.34, 1998.1

【1998年4月2日受付】