

摺上橋 MDC 定着体の室内実験について

畑 田 行 吉*
 荒 井 善 明**
 春 山 尚***

1. 概 要

福島県東湯野寺屋敷線の飯坂町大字東湯野地籍、摺上川にかかる摺上川橋の架かえにあたり、PC桁を採用しPC工法にはMDC工法が施工されることになった。そのためMDC工法の定着性能を調べるため、定着試験とプレストレス管理を行なったのでここに報告する。

摺上橋の諸元をつぎに挙げる。

橋 長：160.2 m
 幅 員： 6.0 m
 橋 格：二等橋
 桁 長： 26.65 m
 支 間： 25.90 m
 桁 高： 1.30 m
 主 桁 数：4主桁
 コンクリート：

圧縮強度（材令 28 日） $\sigma_{28}=400 \text{ kg/cm}^2$
 （導入時） $\sigma_{cut}=340 \text{ kg/cm}^2$
 許容曲げ圧縮応力度
 （設計時） $\sigma_{ca}=130 \text{ kg/cm}^2$
 （導入時） $\sigma_{cat'}=170 \text{ kg/cm}^2$
 許容曲げ引張応力度
 （設計時） $\sigma_{ca'}=0 \text{ kg/cm}^2$
 （導入時） $\sigma_{cat}=15 \text{ kg/cm}^2$
 許容斜引張応力度
 （設計時） $\sigma_{Ia}=9 \text{ kg/cm}^2$
 （破壊荷重時） $\sigma_{Iab}=20 \text{ kg/cm}^2$

PC鋼線（ $\phi 7$ ）

引張強度 $\sigma_{Pu}=155 \text{ kg/mm}^2$
 許容引張応力度（設計時） $\sigma_{Pa}=93 \text{ kg/mm}^2$
 （初 期） $\sigma_{Pi}=108.5 \text{ kg/mm}^2$
 （導入時） $\sigma_{Pt}=96 \text{ kg/mm}^2$

プレストレスの程度 フルプレストレス

* 福島県土木部道路課長
 ** " 道路課主査
 *** " " 技師

2. MDC 定着試験

著者等は MDC 工法による本PC桁橋を施工するに当って土木学会制定プレレスト コンクリート設計施工指針 17 条の趣旨にもとづいて、本工事に使用する定着体がPC鋼材の引張強度を十分に発揮できる機能を持っているかどうかを確認する必要がある。すなわち、定着体が具備すべき条件として、

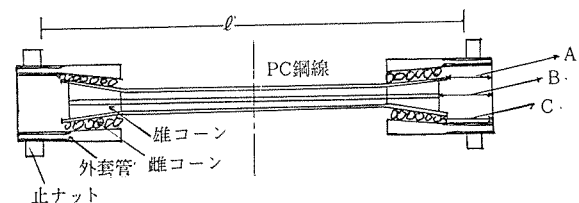
- 1) 定着体はPC鋼材の保証引張強度以下の荷重では破壊しないこと。
 - 2) PCケーブルの緊張定着以後は、PC鋼線がゆるんだり定着体が変形をしないこと。
 - 3) 前項の問題とも関連して同一ケーブル内のPC鋼線応力度は均等であること。
- などがあげられる。これらの事項を確認する目的でつぎに記すような試験方法によって実験を行なった。

(1) 試験方法

MDC 定着体 (AW 12-7) を使用して、図-1 のごとくPC鋼線 $\phi 7$ を 12 本使用して、長さは約 1.7 m のケーブルを 5 組作成し、アムスラー型 300 t 横型引張試験機により引張試験を行なった。試験ケーブルの作成に当って鋼線の曲がりおよびセット作業のねじれを除去する目的で 5 t の予備引張力を加え、0 にもどしたのちにケーブルを構成しているPC鋼線の中央部にそれぞれワイヤストレインゲージを貼付し、静的ひずみ測定器により各荷重ごとのPC鋼線のひずみを測定し、また、各荷重ごとにPC鋼線の動き (A)、雄コーンの動き (B)、雌コーンの動き (C)、長さ (l) を測定した。

応力測定は 0~55 t まで 10 t ごとに測定し、また荷

図-1



重を 1t までもどしてから 62 t までを 2 回反復して測定した。

0, 1, 10, 20, 30, 40, 50, 52, 55, 1, 10, 20, 30, 40, 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62, 1, 62, 1,

測定点は右のとおりである (単位 t)。

表-1 測定結果

B-1 PC鋼線の動き (A)

(mm)

ケーブル番号	測定位置	荷 重 (t)	P C 鋼 線											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
No. 1	引張側	0	27	24	26	25.5	27.5	25	28	27.5	27.5	26.5	30.5	28.5
		55	40	36.5	38.5	38.5	40.5	38	41	40.5	40	38.5	43.5	41.5
		1	40	36.5	38.5	38.5	40.5	38	40.5	40.5	40	38	43	41.5
		1	41.5	37.5	40	39.5	41.5	39	42.0	41.5	42	40.5	44	42.5
		1	41.5	38	40	40	41.5	40	42.5	42	42	40	44.5	43
	固定側	0	22	26	24	27	23	24	23	22.5	27	25	24	24
		55	38	42	40	42.5	39	40	37	38	40	39.5	38	38
		1	38	42.5	40	42	39	40	37	38	40	40	39	39
		1	40	45	41	44	40	42	39	40	42	42	40	40
		1	40	44	42	44	40	42	39	40	42	42	40	41
No. 2	引張側	0	27	26.5	26.5	27.5	26.5	26.5	27	26.5	27	27.5	28	27.5
		55	41	39.5	39.5	41.5	40.5	40	38.5	39	41	40.5	42.5	42
		1	41	39.5	39.0	41.5	41	40.5	38	39.5	40.5	40	42	42
		1	42.5	41	40.5	43	42	41.5	40	41	41.5	41.5	43	42.5
		1	測 定 せ ず											
	固定側	0	28	27	25	28	28	21	27	27	26	27	27	27
		55	39	38.5	36	38.5	38	32	38	38	37	38	37	37
		1	39	38.5	36	39	38	32	38	38	37	38	37	37
		1	41	41	38	41	39	34	40	40	39	39	39	39
		1	測 定 せ ず											
No. 3	引張側	0	24.5	24.5	27	25.5	25.5	21.5	23.5	22.5	21	21	25.5	24.5
		55	37.5	38	40.5	39	38.3	34.5	37	36	34.5	34	38.5	38
		1	37.5	38	40.5	38.5	38.5	34.5	37	35.5	34	34	38.5	38.5
		1	39	39.5	42	40	40	36	38	36	35.5	35.5	40	39
		1	39.5	39.5	42	40.5	40	36.5	38	37	36	35.5	40	39
	固定側	0	27	25	24	24	22	28	24	24	28	28	25	25
		55	41.5	39	38	37	36	42	38	42	42	42	40	40
		1	61.5	39	38	37	36	42	38	42	42	42.5	42	40
		1	43	41	39.5	38	37	43	40	43	44	44	41.5	41.5
		1	43	41	39.5	38	37	43	40	43	44	44	41	41.5
No. 4	引張側	0	30	30	29	27.5	26	26.5	27.5	26	27.5	28.5	30.5	27.5
		55	43.5	43.5	42	41.5	39	39	40	39	41	42	44	40.5
		1	43	43	42	41.5	39	39	40	39	41	42	43	40
		1	45	45	44	43	40	40	42	40	42	43	45	42
		1	45	45	44	43	40	40	42	40	42	42	43	45
	固定側	0	28	23	22	22	24	25	24	24.5	27	24	24	22
		55	40	35.5	34	35.5	37	38	36.5	37.5	40	36.5	36	35
		1	40	35.5	35	35	37	38	37	37	39.5	37	36	35
		1	42	37	36	37	39	39.5	38	39	41	38	38	36
		1	42	37.5	36	36.5	39	39.5	38	39	41.5	38	38	36
No. 5	引張側	0	22	23	22	25	25	25	25.5	22	22	21	23	22
		55	33.5	32.5	34	35.5	36	36	36	33	32.5	32.5	34	33
		1	34	33	34	35	36	35.5	36	33	32.5	32	34.5	33
		1	36.5	35.5	37	37.5	38	38	39	35.5	35	35	37	35.5
		1	37	35.5	37	38	38	38.5	39	35.5	35	35	37.5	35.5
	固定側	0	28	28	27	27	28	28	24.5	25	26	26	28	28
		55	41	39.5	39	38	38	37.5	37	40	40	39	39	40
		1	41	40	40	38	38	38	37	40	40	39	39	40
		1	41.5	41	41.5	39	39	39	38	41	41.5	40.5	41	41.5
		1	45.5	41	41	39.5	40	39	38	41	41.5	41	41	41.5

報 告

(2) 測定結果

前項にのべた試験方法によりつぎにあげる測定項目について測定した結果を 表-1~3 に示す。

- 1) 引張荷重増加によるPC鋼線の移動量 (A)
- 2) " 雄コーンの " (B)
- 3) " 雌コーンの " (C)
- 4) 固定引張側定着体間の距離 (l)

1) 引張荷重増加によるPC鋼線の移動量 (A) の測定結果は 表-1 のとおりである。荷重の行の 0~55~1

~1~1 となっているのは 0~55~1~62~1~62~1 の引張作業を行なって 0~55~1~1~1 のときのPC鋼線のMDC 外とう管よりの移動距離を示すものである。これを整理して荷重の変化に対してのPC鋼線の移動量を示したものが 表-4, 5 で、表-4 はケーブル12本のPC鋼線の平均移動量を、表-5 はPC鋼線おのおのの移動量を示すものである。

2) 引張荷重増加による雄コーンの移動量 (B) および雌コーンの移動量 (C), 定着体間の距離 (l) の測定

表-2 B-2 雄コーン (B), 雌コーン (C), 長さ (l) の動き (mm)

ケーブル番号		No. 1		No. 2		No. 3		No. 4		No. 5	
測定位置	荷重(t)	引張側	固定側	引張側	固定側	引張側	固定側	引張側	固定側	引張側	固定側
雄コーン (B)	0	38.5	38	36.5	37.5	37.5	39	38	36	37.5	36
	55	51.5	54	49	48	51	53	51	49.5	48	48
	1	51	54	49	48	51	53	51	49.5	48	48
	1	52.5	55	50.5	50	52	54	52	50	51	49.5
	1	53	55	—	—	52.5	54	52	50	51.5	49.5
雌コーン (C)	0	61.5	63	60.5	66	64.5	65	61	63.5	63.5	62
	55	62.5	66	63	67	65.5	66.5	62.5	66.5	64.5	64
	1	62.5	66	63	67	66	66.5	63	66.5	65	64
	1	63	66	63	67.5	66	66.5	63	67	66.5	64
	1	63	66	—	—	66	66.5	63	67	66.5	64
長さ (l)	0	1682		1674		1697		1666		1669	
	55	1725		1709		1711		1703		1702	
	1	1713		1697		1700		1692		1691	
	1	1717		1702		1703		1695		1695	
	1	1717		—		1703		1695		1695	
最高荷重	77.6 t 破断 4本切れ		62 t 破断せず		62 t 破断せず		62 t 破断せず		80.4 t 破断 2本切れ		

表-3 (a) B-3 PC鋼線のひずみ測定値

ケーブル No. 1

荷重 (t)	P C 鋼 線 (10 ⁻⁶)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	140	90	200	20	120	30	120	50	180	100	100	150
10	1070	1090	1220	1060	1080	920	1180	840	940	930	990	1130
20	2150	2130	2250	2100	2100	1950	2280	1800	1950	1930	2000	2170
30	3230	3150	3230	3140	3140	2950	3250	2800	2950	2930	3050	3150
40	4250	4200	4250	4200	4180	4000	4300	3850	4000	3950	4080	4220
50	5300	5250	5250	5200	5200	5000	5300	4800	5000	5000	5190	5200
52	5500	5400	5400	5400	5400	5200	5500	5000	5200	5200	5300	5450
55	5800	5800	5800	5800	5750	5500	5800	5350	5500	5500	5600	5800
1	110	90	210	120	175	30	300	-50	100	40	35	125
10	1095	1075	1160	1080	1115	950	1220	840	910	940	960	1080
20	2180	2140	2220	2150	2150	1980	2250	1850	2000	2000	2050	2150
30	3250	3050	3050	3200	3200	3000	3300	2860	3030	2940	3000	3270
40	4350	4300	4350	4280	4250	4050	4300	3900	4060	4030	4150	4300
50	5460	5430	5470	5470	5400	5200	5450	5020	5200	5200	5300	5470
52	5700	5650	5650	5650	5600	5400	5600	5200	5400	5400	5420	5670
54	5900	5800	5800	5800	5800	5600	5800	5400	5600	5600	5700	5900
56	6100	6000	6000	6000	6000	5900	6000	5600	5700	5800	5900	6000
58	6300	6200	6200	6200	6200	6000	6200	5800	6000	6000	6100	6300
60	6550	6400	6500	6500	6430	6200	6500	6050	6200	測	6350	6400
62	6800	6800	6800	6800	6800	6400	6800	6350	6500	定	6650	6850
1	210	200	280	220	270	100	320	0	80	不	20	160
62	6850	6850	6800	6800	6750	6400	6800	6400	6450	能	6600	6800

表-3 (b)

ケーブル No. 2

荷重 (t)	P C 鋼 線 (10 ⁻⁶)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	75	60		40	60	160	200	70	10	70	80	50
10	900	1100		990	780	1300	1290	1060	1180	930	980	940
20	1970	2170		2000	1840	2300	2270	2100	2170	1980	2040	2000
30	2940	3130		3050	2900	3250	3200	3040	3060	2870	2950	3000
40	3920	4440		4050	3920	4300	4250	4140	4100	3950		4040
50	5000	5300		5100	4950	5250	5300	5200	5100	5000		5050
52	5150	5450		5250	5150	5500	5550	5400	5400	5200		5300
55	5450	5800		5600	5500	5800	5850	5700	5700	5500		5600
1	0	135		90	-120	310	350	185	175	-160		0
10	900	1070		1000	800	1200	1250	1100	1030	720		870
20	1900	2150		2050	1860	2200	2270	2150	2070	1800		1950
30	2950	3210		3060	2940	3260	3300	3160	3060	2720		2960
40	3900	4240		4070	3940	4270	4300	4180	4100	3800		4060
50	5000	5250		5070	5000	5300	5300	5200	5100	4800		5050
52					5150			5400		5200		5300
54	測定不能				5400			5550		5400		5500
56					5600			5800		5600		5700
58		"	"	"	5800	"	"	6000	"	5820	"	6000
60					6000			6200		6020		6200
62					6260			6300		6300		6450
1					-60			240		70		70

表-4 MDC ケーブルの各荷重状態における P C 鋼線移動量 (mm)

ケーブル番号	測定位置	荷 重				移動量累計
		0-55	55-1	1-62-1	1-62-1	
No. 1	引張側	12.791	0.091	1.333	0.541	32.129
	固定側	15.374	0.208	1.708	0.083	
	合計	28.165	0.299	3.041	0.624	
No. 2	引張側	13.458	-0.083	1.291		
	固定側	10.749	0.041	1.874		
	合計	24.207	-0.042	3.165		
No. 3	引張側	13.291	0.000	1.291	0.249	27.789
	固定側	14.458	0.041	1.458	-0.041	
	合計	29.749	0.041	2.749	0.208	
No. 4	引張側	13.208	-0.208	0.499	0.000	27.789
	固定側	12.708	0.000	1.541	0.041	
	合計	25.916	-0.208	2.040	0.041	
No. 5	引張側	10.916	0.000	2.583	0.166	27.047
	固定側	11.894	0.166	1.208	0.124	
	合計	22.810	0.166	3.791	0.280	

結果を表-2に示す。荷重増加によるP C鋼線、雄コーン、雌コーンの移動の関連性として大要つぎのことがいえる。

- ① P C鋼線の移動量は雄コーンの移動量と一致するが、雌コーンの移動量とは無関係である。
- ② P C鋼線の移動は引張側と固定側とは一致せず引張側がより大きいか、小さいかも一定していない、これは雄雌コーンの焼鈍軟質化の程度の差によるものえと考られる。
- ③ 雌コーンの移動は、雄コーン、P C鋼線の挙動に

表-5 P C 鋼線の動き測定結果 (0→55→1→62→1→62→1 間合計)

ケーブル番号	測定位置	P C 鋼 線											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
No. 1	引張側	14.5	14.0	14.0	14.5	14.0	15.0	14.5	14.5	14.5	13.0	14.0	14.5
	固定側	18.0	18.0	18.0	17.0	17.0	18.0	16.0	17.5	19.0	17.0	16.0	17.0
	合計	32.5	32.0	32.0	31.5	31.0	33.0	30.5	32.0	33.5	30.5	30.0	31.5
No. 3	引張側	15.0	15.0	15.0	15.0	14.5	15.0	14.5	14.5	15.0	14.5	14.5	14.5
	固定側	16.0	16.0	15.5	14.0	15.0	15.0	16.0	19.0	16.0	16.0	16.0	16.5
	合計	31.0	31.0	30.5	29.0	29.5	30.0	30.5	33.5	30.0	30.5	30.5	30.5
No. 4	引張側	15.0	15.0	14.5	15.5	14.0	13.5	14.5	14.0	14.5	14.5	14.5	14.5
	固定側	14.0	14.5	14.0	14.5	15.0	14.5	14.0	13.5	14.5	14.0	14.0	14.0
	合計	29.0	29.5	28.5	29.5	29.0	28.0	28.5	29.0	28.5	29.0	28.5	28.5
No. 5	引張側	15.0	12.5	15.0	13.0	13.0	13.5	13.5	13.5	13.0	14.0	14.5	13.5
	固定側	13.5	13.0	14.0	12.5	12.0	11.0	13.5	16.0	15.5	15.0	13.0	13.5
	合計	28.5	25.5	29.0	25.5	25.0	24.5	27.0	29.5	28.5	29.0	27.5	27.0

関係ないが大体 3 mm 以下の移動量を示している。

3) ワイヤーストレインゲージによるP C鋼線のひずみ測定結果をケーブル No. 1, No. 2 について表-3に示す。ここで 55 tまでストレッチングを行ない、荷重を取りのぞいて 1 tまでもどしたときに負の記号のひずみが見られるが、P C鋼線の移動量を見ても負のひずみを示すP C鋼線の移動量が正のひずみが残留する他のP C鋼線の移動量に一致することから、定着体のすべりによるものとは考えられず、P C鋼線の曲がりぐせによるP C鋼線の局所的な固有応力と考えられる。

(3) 考 察

a) 定着体の耐力 実験室における5ケーブルの引張試験の結果を土木学会制定のプレストレストコンク

リート設計施工指針に準じて計算される保証破断力および最大作業引張力と比較すると 表-6 のようになり、MDC 定着体の耐力は保証破断力以上であることが明らかとなった。

表-6

No.	断面積 mm ²	種 類	保証 破断力		最大作業 引張力		測 定 引張力 t	定着率 %	備 考
			t	kg/ mm ²	t	kg/ mm ²			
1	462.0	12-φ7	71.6	155	56.1	121.5	77.6	108	素線 4 本破断 破断せず
2	"	"	"	"	"	"	62		
3	"	"	"	"	"	"	62		
4	"	"	"	"	"	"	62		
5	"	"	"	"	"	"	80.4	112	

注：土木学会制定PC設計施工指針によると φ7mm 鋼線の引張強度は 155 kg/mm² であるから 12-φ7 ケーブルの保証破断力は
 $12 \times 38.50 \times 155 = 71\,610 \text{ kg}$
 また最大作業引張力はプレストレッシング中の許容値 $0.9\sigma_{py}$ を用いると $12 \times 38.50 \times 135 \times 0.9 = 56\,133 \text{ kg}$ となる。
 この表中定着率は

$$\text{定着率} = \frac{\text{ケーブルの引張力}}{\text{保証破断力}} \times 100 (\%)$$

b) MDC 定着体におけるPC鋼線なじみ移動量

1) 短期くり返し荷重に対して No. 1~No. 5 のケーブルの実験を通じてケーブルの伸びのグラフはおおよそ類似した傾向を示し 図-2 のようになった。ここで荷重と伸びのグラフについて二、三問題点を拾ってみる。

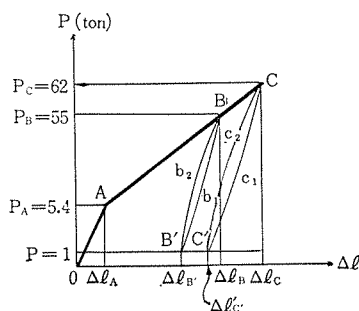
O-A Line : このグラフは A-B 線に比して急勾配で A 点で折れる。すなわち伸び量が他の部分に比して少ないのは MDC ケーブルを組立てるとき、予備張力 5t を加えたことによってPC鋼材のなじみ量の一部分が完了していることによるものであって、この区間における伸びの大部分はPC鋼材の弾性伸びによるものと考えられる。

A-B Line : 勾配が O-A 区間に比して緩勾配となっている。すなわち伸びが多い。これはこの区間においてはPC鋼材および定着体の弾性伸びの他にPC鋼材のなじみによる変形が加っているためであって、荷重一伸び比は

$$\frac{\Delta l_B - \Delta l_A}{55 - 5.4} = \frac{38.3}{49.6} = 0.772 \text{ mm/t}$$

B-(b₁b₂)-B' Line : 荷重解放時は増加時と異なって

図-2



急勾配のグラフとなる。これはPC鋼線のなじみによる伸びが残留するからであり：残留伸びは

$$\Delta l_{B'} - \Delta l_A = 28.0 - 4.1 = 23.9 \text{ mm}$$

荷重に対する残留伸び比は

$$\frac{\Delta l_{B'} - \Delta l_A}{P_B - P_A} = \frac{23.9}{49.6} = 0.48 \text{ mm/t}$$

となる。B' 点から再び荷重を増加させると、解放時とほぼ同一のグラフとなり B 点まで上昇するが、1-55 t の間ではPC鋼材のナジミによる伸びは生じない。

B-C Line : 荷重を 55 t よりさらに 62 t まで増加させるとグラフは B 点で急に折れて以降 55 t A-B Line とほぼ同一勾配で上昇する。これは 55 t 以降PC鋼材のなじみによる変形が発生してくることおよび、その増加率が A-B 区間と同じであることを意味する。

C-(c₁c₂)-C' Line : このグラフは B-b₁-B' とほぼ平行な曲線を呈し急下降している。これは B-b₁-B' Line と同様 55~62 t 間のPC鋼材のなじみによる伸びが残留するからであって残留伸びの平均は

$$\Delta l_{C'} - \Delta l_{B'} = 31.8 - 28 = 3.8 \text{ mm}$$

また荷重一残留伸び比は

$$\frac{\Delta l_{C'} - \Delta l_{B'}}{P_C - P_B} = \frac{3.8}{7} = 0.54 \text{ mm/t}$$

となる。その後 1-62-1 t と反復載荷することによって、グラフは最初 B-b₂-B' Line にほぼ平行に上昇する。これは前回と同一の荷重を反復してもPC鋼材のなじみは増加しないからである。

以上の考察をもとにして MDC 定着体とPC鋼線のなじみに関する性質を結論すると

- 1) PC鋼線のなじみは荷重に比例して生じる。
- 2) 一度生じたなじみは荷重減少してももどらない。
- 3) 同一強度以下の荷重を何回くり返してもなじみは変化しない。
- 4)なじみ量の標準はほぼ 0.50-0.55 mm/t 程度に考えてよい。

(4) MDC 定着体試験についての結論

PC鋼線と MDC 定着体とのナジミ移動量は、緊張力に比例して生じ、その量はほぼ 0.50~0.55 mm/t 程度であること、したがって MDC ケーブルを組立てる場合およびPC鋼線を切断する場合はこの割合によって発生するPCケーブルの塑性伸び量を見込むべきである。またいったん生じたなじみはそのなじみを生じさせるときに加えた強度以下の荷重を何回くり返してもなじみは変化しないこと、および長期荷重によってもなじみはほとんど変化しないことから MDC ケーブル定着効果は実用上十分であると考えられる。

1966.11.21・受付

freyssinet

METHODS

Prestressing

■ 営業品目 ■

● コンサルタント計画

調査・設計・監理・試験・技術指導

● 販売・貸与

ゴム支承体〔フレシパッド・FKパッド〕
各種 P C 機材

F.K.K.

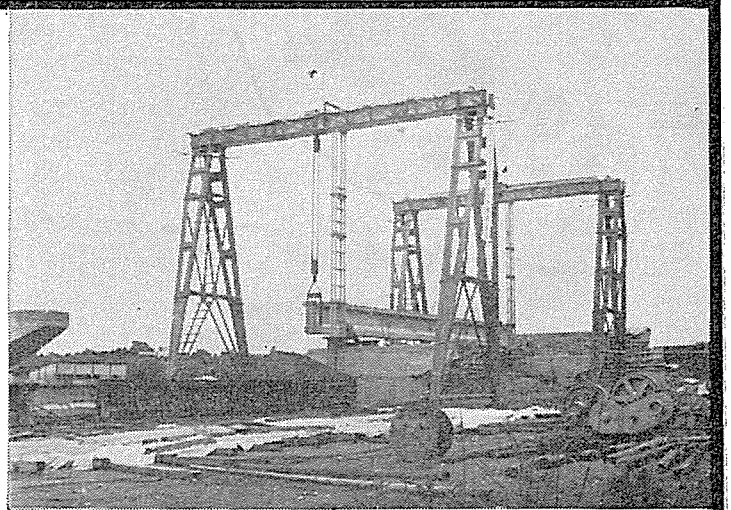
仏国STUP フレシネー工法 極東総代理店
英国PSC Equipment Ltd., 極東総代理店

極東鋼弦コンクリート振興株式会社

取締役社長 藤田 亀太郎

東京都中央区銀座西6の6(合同ビル)
電話 (571) 8 6 5 1 (代表)

PC 架設機 の 設計・製作



120 TON PC 桁架設機

多年の経験を誇る

三信工業株式会社

東京都千代田区神田司町2-5

TEL (294) 5131・5132・(293) 0787