

亜鉛メッキシースに関する各種試験研究

宮 崎 義 成*

1. はじめに

ポストテンショニングによるプレストレスト コンクリートにおいては、シース内面にさびの有無によって緊張時のケーブル摩擦に大きな差があり、緊張力の決定に不便であるのみならず、さびのはなはだしいときは、摩擦が大きくなりすぎて所定のプレストレスを導入することが不可能となる場合さえある。

また、ケーブルの両端に使用する定着具の価格は、PC鋼材そのものの価格に比して比較的大きい比率を占めるため、たとえば連続桁等においては、できるだけケーブルを継足しせずに長いものを使用するほうが経済的であるにもかかわらず、ケーブル長を大きくすると摩擦損失が増加して有効プレストレスが減少する。

以上の理由によりPC鋼材とシースの間の摩擦をできるだけ小さくすることは、施工上からも経済上からも大いに必要なことである。PC鋼材とシースとの間の摩擦を小さくするには、PC鋼材とシースともに発錆しないことが一番有効である。PC鋼材の場合は保管に注意すれば発錆を防止できるが、シースの場合は、これがコンクリート打設以前に型わく中に配置されるので、湿気と温度のため、普通の磨き鋼板製のシース（裸シース）ではたいていの場合、プレストレス導入時にはすでに著しくさびを発生しており、このため摩擦係数が大きくなる例が多い。

筆者は以前に鉛メッキシースを用いて、フレッシュケーブル 12φ5 mm につき摩擦係数の測定を行なったところ、従来の磨き鋼板製シースを用いた場合に比して、摩擦係数が35~40%減少した。しかしながら鉛メッキは比較的高価につき広く実用に供されるに至らなかった。

シースの発錆を防ぐには、鉛メッキに替えて単価の安い亜鉛メッキシースを用いても、鉛メッキの場合と同等の効果があると考えられる。しかし、一般には亜鉛メッキの場合は亜鉛とコンクリート中の遊離アルカリとある化学反応を起こしてコンクリートとの付着を害する恐れ

があるのではないかと懸念されているので、次の一連の試験を行ない、亜鉛メッキシースの使用の可能性と、従来の磨き鋼板製シースの場合に比し摩擦係数の減少率を調べた。

1) 亜鉛メッキシースの耐腐食性試験：アルカリ溶液中の浸漬試験、湿潤試験、および塩水噴霧試験を行なって、耐腐食性を調べる。

2) グラウト抽出液中におけるシースの経時変化：試験片をグラウト抽出液中に浸漬し腐食減量を測定する。

3) 亜鉛メッキ表面とグラウトとの間の付着力の経時変化：亜鉛メッキ層とグラウトとの間になんらかの化学変化があり、グラウトが劣化するかどうかを調べるため、亜鉛メッキ鋼線と普通鋼線につきグラウトに対する付着力の比較を経時的に調べた。

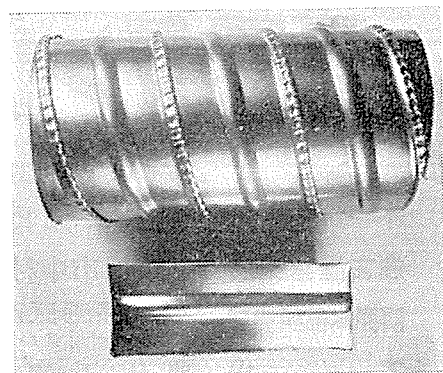
4) グラウトおよびコンクリート中に埋め込まれた亜鉛メッキシースの経時変化：亜鉛メッキシースと裸鋼板製シースのテストピースをグラウトおよびコンクリート中に埋め込み、一定期間後にテストピースを取り出し、表面変化を比較した。

5) 亜鉛メッキシースの摩擦測定：亜鉛メッキシースと、裸シースの内部のさびたものをコンクリートに埋め込み、摩擦係数を測定した。

2. 亜鉛メッキの耐腐食性試験

試験片は新日鉄製亜鉛メッキ板（メッキ厚 2/1000~5/1000 mm）製シースおよび裸鋼板製シースより切り出

写真-1 腐食試験用シース片



*極東鋼弦コンクリート振興株式会社 専務取締役

した 2 cm×6.5 m の長方形板 (写真—1) で、試験に先立ち、次の前処理を施した。アルコール洗浄→ベンジン洗浄→アルコール洗浄→乾燥

a) アルカリ溶液による耐食性試験 試験片は各 3 枚とし、5 種のアルカリ溶液に 10 日間浸漬し、化学天秤で精秤し耐食減量を求めた。結果を表—1 に示す。

表—1 アルカリ溶液浸漬試験結果

供試アルカリ液	pH	腐食減量 (g/m ² /10 days)	
		裸シース	亜鉛メッキシース
(1) Ca(OH) ₂ 飽和液	12.5	0	-0.05 (増)
(2) (i)液+NaOH	13.5	-25.74 (増)	5.05
(3) (i)液+CaSO ₄	11.5	16.86	16.25
(4) Ca(OH) ₂	11.5	19.01	7.08
(5) Ca(OH) ₂	10.5	18.12	2.58

b) 湿潤試験 試験片は裸シース、亜鉛メッキシースともそれぞれ 6 枚をとり、4 辺の切口をメラミン樹脂でシールした。これら試験片を塩水噴霧試験室中央にナイロン釣糸で吊下げ、表—2 の条件で試験した。

表—2 湿潤試験条件

項 目	条 件
試験室内温度	50±1°C
湿度	95~100%
供給水蒸気温度	60±1°C
供給空気圧	0.1 kg/cm ²
試験サイクル	26 (23 時間 30 分連続, 30 分開放を 1 サイクルとす)

試験片表裏の発錆度を表—3 の制定基準を設けて制定した結果は表—4 のとおりである。

表—3 発錆度判定基準

評価記号	判定基準
A	変化なし
B	極微小赤さび発生
C	赤さび 10~20% 発生
D	赤さび 30~50% 発生
E	赤さび 60% 以上 発生

表—4 湿潤試験結果

サイ クル	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
裸シース	B	B	C	C	C	D	D	D	E	E	E	E	E
亜鉛メ ッキシース	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A+B

c) 塩水噴霧試験 JIS Z 2371 (1955) 塩水噴霧試験方法に準じて行なった。試験条件は表—5 に示すとおりとし、試験片の数および支持条件は湿潤試験の場合と同一とした。試験結果の評価は湿潤試験の場合と同様に試験片各 6 枚の表裏両面の平均状況で示した。この結果を表—6 に示す。

以上の試験結果をとりまとめると、次のようなことがいえる。アルカリ溶液による耐食試験では、Ca(OH)₂ 飽和溶液に CaSO₄ を添加して pH=11.5 にした場合

表—5 塩水噴霧試験条件

項 目	条 件
試験装置	耐食塩水噴霧試験機 IRKSQ-200 型 (板橋理化製)
使用塩水	塩化ナトリウム試験 1 級品および純水を用い pH 6.7~7.1
試験室温度	35±1°C
噴霧塩水量	1.03~1.22 cc/80 cm ² /h (速) 1.07~1.31 cc/80 cm ² /h (近)
試験サイクル	2 サイクル (23 時間 30 分連続 30 分開放を 1 サイクルとす)

表—6 塩水噴霧試験結果

サイ クル	1	2
裸シース	赤さび 40~50% 発生	赤さび 60~70% 発生
亜鉛メッキシース	白さび 40~50% 発生	白さび 70~80% 発生 赤さび 10% 発生

のみは裸シースと亜鉛メッキシースは同じ程度の腐食を示すが、その他の溶液ではすべて亜鉛メッキシースのほうが腐食が少ない。

湿潤試験では当然ながら亜鉛メッキシースのほうの耐食性はきわめてよく、大気中に少なくとも 1 カ月間放置しても変化しないことがわかる。

塩水噴霧試験では、亜鉛メッキシースの場合 1 サイクル目は亜鉛の腐食期間で地金の発錆はないが、2 サイクル目から地金の腐食が起こる。裸シースに比して耐食性はよいともいえるが、海岸地帯に放置すると白さび発生のおそれがある。

3. グラウト抽出液中におけるシース表面の経時変化

シース試験片は次の 3 種類で、寸法は 34 mm×50 mm のもの各 2 枚ずつを製作した。

- ① 亜鉛メッキ鋼板シース材 A (電気メッキメッキ付着量 9.44 g/m²)
- ② 亜鉛メッキ鋼板シース材 B (ドブ漬メッキメッキ付着量 11.0 g/m²)
- ③ 裸鋼板シース材

試験溶液は水セメント比 40% のグラウトより抽出したもので、セメントとしては、アサノ、小野田、住友および秩父セメントのそれぞれ普通セメント、早強セメントの 8 種類とし、試験片を各抽出液中に浸漬して、10 日後および 30 日後の表面状態および腐食減量を調べた。

抽出後の pH はいずれも 13.2 であった。試験の結果は浸漬後 10 日の場合も 30 日の場合でも、全試験片表面にはさびの発生を見ず、若干の石灰系と思われる結晶が付着し全面的に灰色のコーティング状となった。ただ裸鋼板の 30 日浸漬のものだけは多少の赤さびの発生を見た。秤量結果はいずれの場合も増量で、セメントの種類により 6~13% のばらつきがあったが、各種シース材

報 告

についての増量にも 10 日後と 30 日後の増量との間にも有意差は認められなかった。ただ、普通セメントの場合は早強セメントの場合より、いくぶん増量が大きくなる傾向を示した。試験結果は表一7 に示すが、亜鉛メッキシースと裸シースの間に格別の差異はみとめられなかった。

表一7 グラウト抽出液浸漬による増量 (g/m²)

グラウト抽出液	浸漬日数	試料					
		亜鉛メッキ(電気)		亜鉛メッキ(どぶ漬)		裸鋼板	
		10日	30日	10日	30日	10日	30日
浅野普通セメント		12.04	8.84	12.72	12.48	11.87	13.64
「早強」		7.42	8.61	6.79	7.22	7.67	7.30
小野田普通セメント		8.56	8.14	10.62	7.68	8.01	8.62
「早強」		6.08	6.78	6.37	7.98	6.35	6.13
住友普通セメント		8.56	8.83	8.50	8.34	8.77	9.86
「早強」		7.80	8.69	8.52	9.31	7.49	9.51
秩父普通セメント		13.26	12.01	12.14	8.29	11.97	10.32
「早強セメント」		10.63	12.12	10.88	11.32	12.01	12.52
平均		9.29	9.25	9.60	9.09	9.27	9.74

4. 亜鉛メッキ板表面とセメントペーストとの間の付着力の経時変化

亜鉛メッキシースを用いた場合、周囲のコンクリートあるいはセメントペーストとシースとの接触面でなんらかの化学反応のために、コンクリートあるいはペーストが劣化するのではないかと考えられる。この劣化が実用上支障をきたすかどうかを調べるために付着力の変化を調べることにした。このため間接的ではあるが亜鉛メッキを施した直径 5 mm の PC 鋼線と裸 PC 鋼線をセメントペースト供試体中に埋め込み、引抜力を経時的に測定した。併試体の形状は直径 15 cm、高さ 30 cm のコンクリート標準供試体で、PC 鋼線の埋込長は 20 cm とした。なお、ペーストの配合は次のとおりとした。

セメント：50 kg、水：20 kg、アルミニウム粉：4.5 g、プラスクリート：140 cc。

供試体の材令と圧縮強度の関係は図一1 に示される。この場合、圧縮強度は供試体 6 個の平均値をとった。

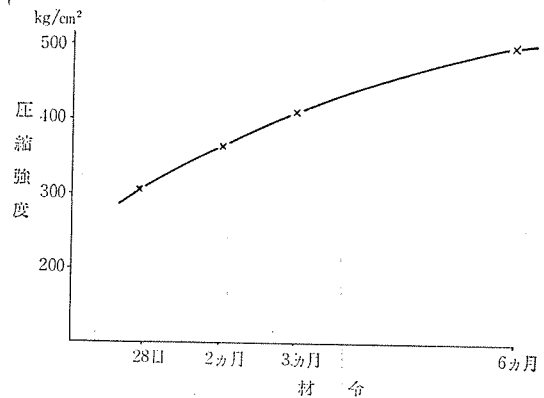
鋼線の引抜試験は図一2 に示すごとく、1 本引き、センターホールジャッキを鋼線の拔出部にかまして、供試体を支台として鋼線を引張り、拔出量と引張力を測定した。拔出量が急増する直前の荷重を引抜最大力 P とし、付着強度を次式で求めた。

$$\tau_a = \frac{P}{A}$$

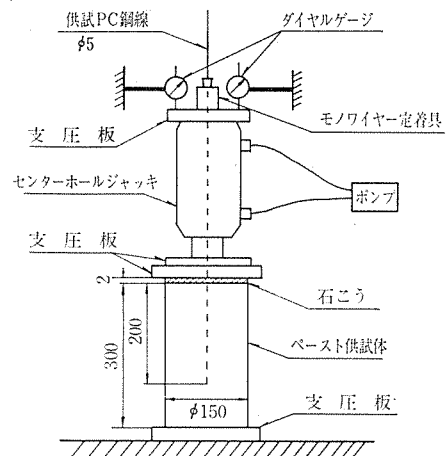
ただし τ_a ：付着強度 A：付着全表面積

試験は供試体 3 個ずつについて行ない、その平均値をもって測定結果を取りまとめると図一3 のとおりとなっ

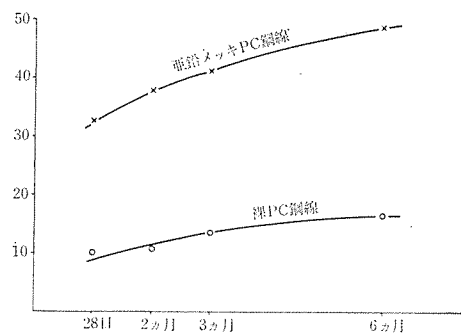
図一1 供試ペースト圧縮強度



図一2 引抜試験装置



図一3 PC 鋼線のセメントペースト付着強度



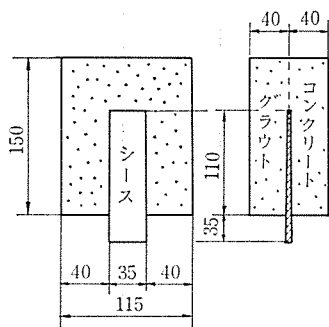
た。これによる亜鉛メッキPC鋼線とセメントペースト間の付着強度は裸PC鋼線（表面は紙ヤスリで磨いたもの）に比して著しく大きい。これは亜鉛メッキPC鋼線の表面が裸PC鋼線の表面より粗度が大きいことにもよるであろうが、いずれにしても亜鉛メッキシースを用いても周囲のセメントペーストに実用上の悪影響を与えるものでない判断される。

5. グラウトおよびコンクリート中に埋め込まれた亜鉛メッキシースの経時変化

亜鉛メッキシース片と裸シース片をグラウトおよびコンクリート中に埋め込み、それぞれ1か月、3か月、6

か月後に取り出してその表面の変化を目視により調査した。供試体の形片寸法は図-4に示されるものとし、シーシスの片側にコンクリートを他の片側にグラウトを打ち込んだ。

図-4 シーシスの表面変化試料



供試体の数は各種別ごとに3個、供試シーシス片は次の4種とした。

- 1) 亜鉛メッキシーシス
- 2) 裸シーシス ④表面無処理, ⑤二硫化モリブデングリース塗布, ⑥防錆剤 (NO-OX-ID 500) 塗布

コンクリートの配合:

W/C=40% S/C=1.75 G/S=1.62 プラスクリート 0.4% (セメント量)

グラウトの配合:

W/C=40% プラスクリート 0.4% (セメント量)

供試体は自然養生とし、所定の期間後にコンクリートとグラウトの接触面で二分割し、シーシスの表面状況を調べた。その結果を要約すると表-8のごとくなる。

表-8 シーシス材表面のコンクリートおよびグラウト中の径時変化

		1ヵ月後	3ヵ月後	6ヵ月後	1か年後
亜鉛メッキ	グラウト中	ほとんど変化なし	同左	同左	同左
	コンクリート中	一面に白い沈着物が付着	同左	同左	同左
裸シーシス	グラウト中	表面処理無	変化なし	薄く沈着物が付着	同左
		表面処理有	変化なし	同左	同左
	コンクリート中	表面処理無	ほとんど変化なし	同左	同左
		表面処理有	変化なし	同左	同左

表-8 によって明らかなおお、1年後までは亜鉛メッキシーシスの亜鉛層の変化は全く認められず、裸シーシスに防錆剤を塗布したものと同一耐食性を示し、裸シーシスより、いっそうすぐれている。

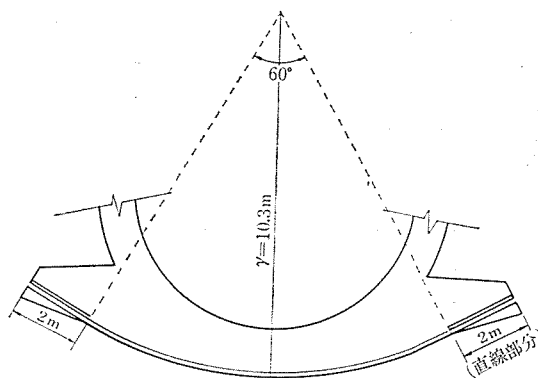
6. 亜鉛メッキシーシスの摩擦試験

亜鉛メッキシーシスを用いると摩擦係数がどの程度減少するかを調べるため、図-5に示すような試験台を用い、次の材料組合せによってケーブルを緊張し摩擦を測定した。

シーシスの内径: 45 mm 肉厚 0.25 mm (12φ8 mm ケーブル用)

60 mm 肉厚 0.25 mm (12φ12.4 mm ケーブル用)

図-5 試験台



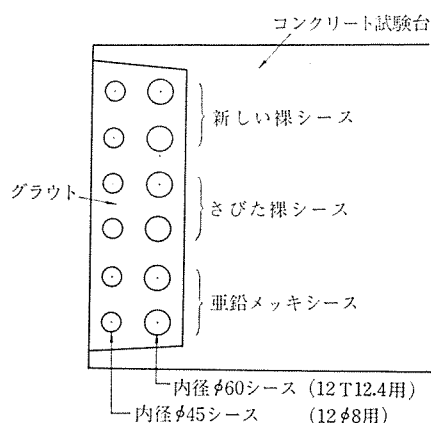
- シーシスの種別: 裸シーシスの新しいもの
裸シーシスのさびたもの
亜鉛メッキシーシス
鋼 線: 新しいもの
さびたもの

試験台は図-5に見られるとおお、既成の円形タンクセグメントを利用したもので、シーシス位置における円弧の半径は 10.3 m、角変化は 60°、シーシスの支持間隔は約 1 m とし、シーシスの両端部は各 2 m の直線部を設けた。また、シーシスの配置は図-6に示すごとくし、各試験とも試料2個をとることにした。さびの程度はシーシス、P C鋼線とも試験前1か月の間戸外に放置して発錆させたものである。

(1) ジャッキおよび定着具の内部摩擦

摩擦測定試験ではシーシスの両端にアウトコーンを取付けて緊張するので、定着具とジャッキの内部摩擦を前もって測定した。図-7に示すごとくジャッキと定着具を

図-6 シーシスの配置



配置し片側より緊張し、両側のポンプ圧力を測定した。

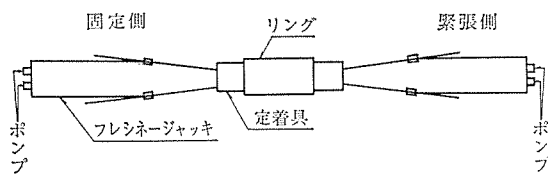
緊張側のポンプ圧力 P_1

固定側 " P_2

摩擦係数 r

$$\frac{P_2}{P_1} = (1-r)^2 = a^2 \dots \dots \dots (1)$$

図-7 ジャッキおよび定着具の内部摩擦測定装置



により P_1 が 350, 400, 450 kg/cm² のときの平均の a^2 を求めると、次のとおりとなった。

12φ8 mm の場合 $a^2=0.925$

12φ12.4 mm " $a^2=0.915$

次に試験台の両側に定着具とジャッキポンプを配置し緊張側のポンプ圧力 P_1 と固定側のポンプ圧力 P_2 を測定した。この場合

$$\log_e a^2 \frac{P_1}{P_2} = \mu\alpha + \lambda l$$

ここに μ : 角摩擦係数 l : ケーブル長

α : 角変化 $\pi/3$ ラジアン r : 円弧半径

λ : 長さ に 比例 する 摩擦 係数

とすると

$$l/r = \alpha$$

$$\therefore \log_e a^2 \frac{P_1}{P_2} = (\mu + \lambda r)\alpha$$

$$\therefore \mu + \lambda r = \frac{3}{\pi} \log_e a^2 \frac{P_1}{P_2} \dots \dots \dots (2)$$

よって $(\mu + \lambda r)$ が求まる。

試験の結果では、緊張力が小さい間は摩擦がやや大きく、緊張力が大きくなると摩擦がやや少なくなる傾向があることがわかったが、結果の取りまとめには緊張側ポンプ圧力が、350, 400, 450 kg/cm² (通常用いられるケーブルの初緊張力に相当する圧力) の場合の平均値を用いた。

この試験によって求めた、 P_1/P_2 の実測値と式 (1) および式 (2) によって計算される $(\mu + \lambda r)$ の値および μ の推定値は表-9 に示される。ただし μ の推定値は

$$\lambda = 0.0133 \mu \quad r = 10.3 \text{ m とし、}$$

$$\mu + \lambda r = \mu(1 + 0.0133 r) = 1.137 \mu$$

と仮定して算出したものである。

以上測定結果を観察すると、次のように結論できる。

- 1) 亜鉛メッキシースと新しい裸シースの摩擦係数はほぼ同一である。
- 2) 12φ8 mm ケーブルと 12φ12.4 mm ケーブルの場合の摩擦はほぼ同一である。
- 3) PC鋼材がさびていない場合には、亜鉛メッキシースを用いると、さびたシースに比し摩擦損失が 30~40% 減少する。
- 4) PC鋼材がさびている場合は、亜鉛メッキシース

表-9 シースの摩擦測定結果

使用したケーブル	PC鋼材状況	シース別	P_1/P_2	$\nu + \lambda r$	ν	比率
12φ8 mm	新	メッキ	1.46	0.286	0.252	62
		裸新	1.52	0.327	0.287	71
		さび	1.75	0.460	0.404	100
	さび	メッキ	1.78	0.477	0.420	91
		裸新	1.75	0.460	0.404	88
		さび	1.87	0.523	0.460	100
12φ12.4 mm	新	メッキ	1.47	0.279	0.245	71
		裸新	1.49	0.293	0.257	75
		さび	1.68	0.392	0.344	100
	さび	メッキ	1.72	0.430	0.378	82
		裸新	1.78	0.466	0.410	89
		さび	1.89	0.523	0.460	100

の効果は前項の場合より少なく、摩擦損失の減少は 10~20% 程度である。

7. 試験の総合結果

シースについて行なった各種試験の結果は、各項ごとに記載したが、これを全体的に総合すると次のように結論できる。

- 1) 亜鉛メッキシースの耐候性は一般に裸鋼板製シースに比してきわめてよい。ただし海辺地域の潮風のあたるところでは、あまり効果はない。
- 2) 亜鉛メッキシースをセメントペースト中で、裸鋼板の場合とほぼ同量の径時増量を起こすが、コンクリート中に埋め込まれた場合、3か月後~1か年後までほとんど外観変化が認められず、また、セメントペーストとの付着強度は6か月後でも裸鋼材に比してきわめて大きく、付着表面のコンクリートあるいはセメントペーストの強度を害するとは考えられない。
- 3) 亜鉛メッキシースの摩擦はさびたシースの場合に比して、鋼線がさびていない限り摩擦が大幅に減少するので、シースが緊張時までにはさびるおそれのある場合には非常に有効である。

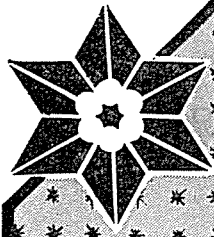
後 記

今回行なった摩擦試験では、シース材料およびPC鋼材のさびの有無による摩擦係数の増減比率を求めることを目的としたので、測定で得られた摩擦係数の実数値そのものが、一般的に適用されるものではないことをお断わりしておく。

本試験では、特に耐食性の諸試験について鈴木金属工業(株)に多大な御協力を賜ったことを誌上で御礼申し上げます。

1971.9.7・受付

東京製鋼製品



PPC

JIS G 3536

鋼線・鋼より線
BBR工法鋼線
多層鋼より線 (19~127本より)

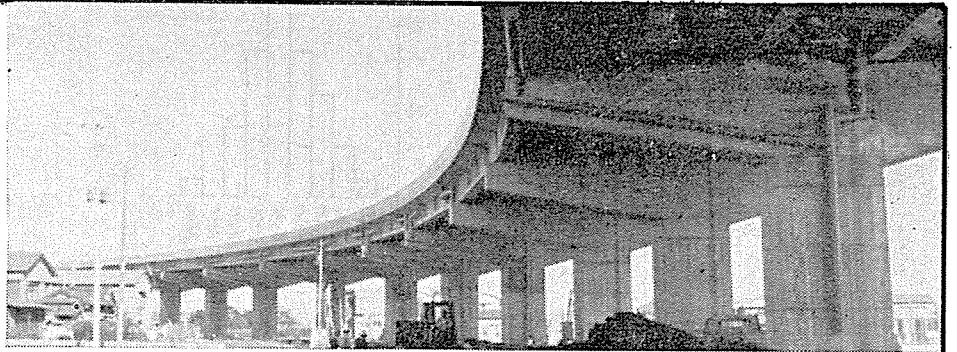
製造元 東京製鋼
発売元

東京都中央区日本橋室町2丁目8番地 古河ビル四階
電話 (211) 2851 (大代表)



鋼弦コンクリート

設計
施工
製造



首都高速道路7号線

九州鋼弦コンクリート株式会社

取締役社長 山崎 銜 秋

- | | |
|-------|---|
| 本店 | 福岡市天神二丁目12番1号 天神ビル (〒810) |
| | 電話 福岡(092)76-5027・74-2374・74-0291 (75-6031-内線317・346・347) |
| 福岡支店 | 福岡市天神二丁目14番2号 証券ビル (〒810) |
| | 電話 福岡(092)74-7963・78-3961・75-1343 (75-1961-内線235・230) |
| 建築事業部 | 福岡市天神二丁目12番1号 証券ビル (〒810) |
| | 電話 福岡(092)77-4029 (75-1961-内線222) |
| 大阪支店 | 大阪市北区芝田町97 新梅田ビル (〒530) |
| | 電話 大阪(06)372-0382~0384 |
| 東京支店 | 東京都港区新橋四丁目24番8号 第二東洋海事ビル (〒105) |
| | 電話 東京(03)432-6877~6878 |
| 営業所 | 大分営業所・宮崎営業所・広島営業所 |
| 工場 | 山家工場・大東工場・関東工場・下淵作業所・筑豊工場・甘木工場・夜須分工場・大村分工場 |