

第3回プレストレスト コンクリート国際会議の報告

松 本 嘉 司*

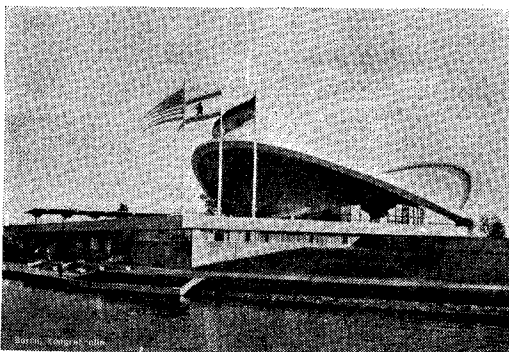
1. まえがき

第3回プレストレスト コンクリート国際会議(FIP)は Deutsch Beton Vereins の後援のもとに Berlin 市会議場で、1958年5月5日より10日まで開催されたが、筆者はたまたま Paris に滞在中であつたので、関係各位の御援助によつてこの大会に出席する機会をえた。以下この大会に提出された報告を中心に述べることにする。この大会への日本よりの出席者は、第1回、第2回とくらべてはるかに多く、京大の坂教授、北大の板倉教授、ピー・エス・コンクリートKKの三田村専務、別子建設KKの中島常務、小田技師、京大の山田講師と筆者の合計7名であつた。大会は45カ国より約2000名のPSコンクリート関係者が集まつての盛会で、Deutsch Beton Vereins の Minetti 博士が大会議長に推薦された。

会場は会議場として1957年に完成した Berlin 市が自慢の近代建築で、その構造はスパン78mの2ヒンジアーチを骨組として、これでこの両側に28°の傾きではね出した円形の屋根を支えており、この屋根にはPSコンクリートを用いている。

5月5日は執行部の打合わせ会議で終り、6日の11時に国際会議大会の開会式が行われた。ここでは Minetti 大会議長、Brandt ベルリン市長、Lüch ドイツ連邦建築相の歓迎の挨拶、Torroja FIP 会長(スペイン)の挨拶、Kühn 教授の講演、等があり、こののち引きつづい

図-1 会場全景



* 正員 国鉄技師、構造物設計事務所

て8日まで次の4つの部会に分けて、報告、討論が行われた。

- 第1部会 設計方法についての研究
- 第2部会 現場施工方法についての研究
- 第3部会 プレキャスト工場製品の製造およびその組立方法についての研究
- 第4部会 第2回国際会議以後に作られた重要なPC構造物についての報告

この開会に先立つて行われた各国代表の打合わせ会議で、日本代表として坂教授が副会長に推薦された。以下この各部会での報告について述べることにする。

2. 報 告

第1部会 設計方法についての研究(5月6日15~18時)

第1部会議長 Paduart 教授(ベルギー)のもとに Rüsck 教授(ドイツ)の一般報告があり、このあとに引きつづいて24の報告が行われ、そのおのおのについて討論された。この討論は Levi(イタリア)、Abeles(イギリス)、Guyon(フランス)氏等、各国の著名な学者が演壇に立つて、きわめて活発に議事が進められた。この報告を Rüsck 教授の分類に従つて整理し、紹介する。

a) 圧縮強度について Glomb(ポーランド)は223個の20cmの立方供試体を用いて、コンクリートの2軸圧縮強さを求め、これと1軸圧縮強さと比較している(No.1)。これによれば、2軸圧縮強さは1軸圧縮強さの25~50%大きくなることを示し、横圧が縦圧の半分でも1軸のみの場合にくらべて11~25%強くなっている。この場合、載荷面とコンクリートとの間の摩擦が強度に影響していること、横方向のせん断力に対して配筋すると約24~50%も強くなること等を報告している。

Kluz(ポーランド)はPSコンクリート柱の実験で、軸方向荷重による強さが計算値より43~80%大きくなつたが、これをコンクリートの3軸強さによるものとして説明している(No.24)。

b) 曲げ強さ Ramaswamy, Narayana(インド)、Rieve(ドイツ)、Páez(スペイン)の各氏がPSコンクリートバリの曲げ強さについて、理論的および実験的研究の結果を報告している(No.2, No.3, No.4)。

Wittfoht (ドイツ) 氏の研究は特に斬新である (No. 5)。彼はスパン 2 m の (断面は 25×30 cm) の P S コンクリート矩形バりに、静荷重および動的疲労荷重を加えて比較し、これらの荷重によるハリの変形を測定することによつて、動荷重の振動数が増加すると、P C 鋼材の付着力が低下すること、応力の再分配が行われること、等を示している。動荷重の場合には静荷重にくらべて、きれつの間隔は大きくなり、また P C 鋼材の付着力の低下は、より小さい荷重で生ずることを実験している。従つてこのハりは静的荷重試験ではコンクリートで圧縮破壊したが、動的疲労試験では P C 鋼材の破断で破壊が生じた。この場合の動的疲労試験による破壊荷重は静荷重によるものの 48% であつた。このほか Pietrzykowski (ポーランド) はコンクリートのかわりに天然石を用いた例を (No. 6), Mikhailov (ソ連) は P S コンクリート合成桁についての研究を、それぞれ報告している (No. 7)。これによると P S コンクリートとコンクリートとで合成桁を作ると、コンクリートの引張り伸びが増加するので有利であると述べている。

しかしこの部会での議論の山は P S コンクリートバリのせん断破壊であり、また、これについては一番多く報告が行われた。Páez (スペイン) は曲げモーメントとせん断力とによる主応力度を求め、これからハリのせん断破壊強さを求めている (No. 8)。従つて腹鉄筋のない場合のハリの極限強さは、コンクリートの引張強さで定まるとしている。これに反して Waether (USA) は曲げによるコンクリートの圧縮部分の強さがせん断破壊に影響するとして、コンクリートの圧縮破壊を問題にしている (No. 9)。Warner, Hall (オーストラリア) はせん断きれつに注目し P S コンクリートバリでは、せん断きれつが生ずると急激に破壊現象が認められるので、最初に発生するせん断きれつが破壊の主原因であるとしている。彼は応力-ヒズミ曲線が三角形であるとして主応力度を求め、これからせん断きれつの計算を進めている。Evans, Hosny (イギリス) は 93 本の P S コンクリートバリの破壊試験をもとにして、せん断応力度から破壊を説明し (No. 11)、この豊富な実験から、せん断応力度、斜め引張応力度、腹鉄筋量、等を求める実験公式を示している。以上のせん断強さを示す公式を整理すると、次のようになる。

$$\text{Páez: } m_s = f(q, t) \\ q = 0.9 p R_p / R_b \quad t = V / bh R_b$$

$$\text{Walther: } m_s = K_n (1 - 1/2 K_n) \\ K_n = \frac{\sigma_p + 1960 \sqrt{h/K'd}}{R_b/p + 3300 \sqrt{h/K'd}}$$

Warner, Hall :

$$m_s = \frac{aJ}{h^2 R_b S} \sqrt{\left(\frac{1}{2} p \sigma_p + R_t\right)^2 - \left(\frac{1}{2} p \sigma_p\right)^2}$$

$$R_t = \alpha (R_b) \beta (a/h)$$

$$\alpha (R_b) = 0.043 R_b \quad (R_b > 350 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\alpha (R_b) = 0.096 R_b - 1.50 \times 10^{-4} R_b^2 \quad (R_b < 350 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\beta (a/h) = 1.0 \quad (a/h > 1.5)$$

$$\beta (a/h) = 6.85 - 3.90 (a/h) \quad (a/h < 1.5)$$

Evans, Hosny :

$$m_s = K_1 (0.10 + 2.1 \times 10^{-3} p \sigma_p)$$

$$K_1 = 1.5 - 0.9 \times 10^{-3} R_b$$

ここに、

$$m_s : M_s / bh^2 R_b$$

V : せん断力

R_b : 円柱供試体強度

R_p : 引張り強さ

h : ハリの有効高さ

a : せん断スパン

S : 圧縮部分の第 1 のモーメント

J : 断面二次モーメント

d : 鋼材の径

p : 鉄筋比 (= A_s / A_b)

\sigma_p : 鋼材の引張強さ

K' : 粗度係数 (丸鋼では 5.5, さびたより線で 1.5)

このほか Abeles (イギリス) は薄い P S コンクリートプレキャスト版にコンクリートを打つて合成スラブを作り、これのせん断破壊実験の結果を示し、Visser (オランダ) もせん断破壊についての研究を報告している (No. 12, No. 13)。

P S コンクリートバリのねじり破壊について、全く新しい研究が Cowan (オーストラリア) によつて報告された (No. 14)。きれつに対して計算したねじり引張り応力は、コンクリートの引張り強さによく一致し、また、ねじりきれつが発生すると急速にねじり破壊が起こることを報告している。

c) 構造物の理論計算について Svoboda (チェコスロバキア) は P C 水槽の底版と壁とが一体に作られている場合の底版の計算方法を (No. 15), Eimer (ポーランド) は円形水槽のプレストレスによる座屈に対する安定計算の公式を与えている (No. 16)。これによれば、極端な場合を除き、P C 円形水槽は座屈に対して安定である。このほか Baretts (フランス) は薄版構造の設計計算方法を示し、模型実験と比較している (No. 17)。Kastner (オーストリア) は圧力トンネルのコンクリートライニングのオーストリアでの P S 工法の計算方法を示している (No. 18)。これはコンクリートのライニングと裏の岩盤との間に高圧のモルタルを注入して、これで内方へ圧力を加え、プレストレスする方法で、彼はこの理論的解法を示した。P C 橋梁に対する実験結果の報告は Voves と Klimeš (いずれもチェコスロバキア) に

よつてなされている (No.19, 20)。このスパンはそれぞれ 32 m および 25 m で、後者は鉄道橋である。

d) その他 Harris (イギリス) はイギリスにおける P S コンクリートの最近の問題点について (No. 21), Gvozdev, Dmitriev, Kalatourov Mikhailov (ソ連) はソ連において採用している極限強さ設計法による設計基準について報告している (No. 22)。

第 2 回の国際大会で P S コンクリートの基準を国際的に統一することを提案した Paduart (ベルギー) は、今回もこれに対する私案を発表し、さらにいろいろの点について彼の研究を示した (No. 23)。この彼の提案は大会で多くの賛意を得た。

第 2 部会 現場施工方法についての研究 (5月7日 9~12 時)

第 2 部会議長 Levi 教授 (イタリー) のもとに Janssonius 教授 (オランダ) の一般報告があり、この後引きつづいて 19 の報告および討論がなされた。内容は大別して、グラウチング、摩擦損失、定着方法、P C 鋼線、その他に分けられる。

a) グ라우チング グ라우チングの結果は構造物の寿命にくらべて必ずしも十分でないので、グラウチングに対しては多くの研究が発表されており、特に STUVO-CUR のグラウチング委員会の報告 (オランダ) が一般的にすべての問題にふれて報告している (No. 6)。STUVO 委員会はグラウチングの硬化後の条件として、

- (1) シースの中を充填すること
- (2) 十分な強度があること
- (3) 低温において硬化後膨張しないこと
- (4) P C 鋼材に化学的作用を与えないこと

をあげ、このためのグラウトの条件として、流動性、安定性、凍害に対する抵抗性、等をあげている。特に凍害については Ipsen (デンマーク) がデンマークでのグラウチングの施工指針を発表し (No. 3)、また Leonhardt (ドイツ) も注入前に温水をシースに通してシース内の氷片を除去することを述べている (No. 4)。彼はこのほかドイツにおける施工指針によるグラウトの試験方法、グラウト用ミキサ、等についても報告している。Mühe (ドイツ) もグラウチングの装置についてふれている (No. 5)。グラウチング用セメントについては、Leonhardt, Ipsen のほかに Boardman (南アメリカ) がその研究を発表しているが (No. 1)、彼は普通ポルトランドセメントで十分よい結果が得られることを示した。彼の研究はラジオ アイソトープを用いて行われ、また実際の施工にもこの活用を提案している。なお Boardman と Leonhardt は CaCl_2 が高張力鋼材に対して有害であると警告している。グラウトにアルミニウム粉末使用の間

題は多くの報告者によつて取り上げられたが、その効果については決定的ではなかつた。Mühe はシースと P C ケーブルとの摩擦を小さくするための油の使用および、P C ケーブル緊張後におけるこの油の除去についてふれている。なお, Champion, Hill はイギリスのグラウチングの実情について報告している (No.2)。

b) 摩擦損失について 摩擦損失は、P C ケーブルの緊張用ジャッキ内、定着部分、シースと P C ケーブルとの間、の 3 つの部分で生ずるが、Kowalczyk, Zieliński (ポーランド) はこの第 1 の損失を確実につかむため、すべてのジャッキを実験室で検定することを提案している (No. 12)。Dreux (フランス), Fritz (ドイツ), Kalhauge (デンマーク) はジャッキの圧力計の誤差を取り上げて圧力計の値よりも P C ケーブルの伸びの測定により重点をおくべきであるとしている (No. 8, No. 9, No. 10)。なお Freyssinet コーンの摩擦測定結果も報告されている (No. 8, No. 12)。

P C ケーブルとシースとの間の摩擦損失については、Euler-Cooley-Montagnon 公式があげられている。なお鋼棒とより線との摩擦抵抗の差、シースの波の間隔、鉛メッキシース、アルミニウムシース、等についての研究も見られた。Dreux および Kalhauge は P C ケーブル緊張のさいに生ずる現象としてケーブル Wobble 現象 (ケーブルが微小の波をもつこと) による摩擦抵抗の増加について報告し、Fritz は鋼線に生じたさびの影響について、Kalhauge および Kowalczyk, Zieliński は P C ケーブルの塗油について、Barredo (スペイン) は再緊張による摩擦の均一化について (No. 7)、それぞれ報告している。また Dreux は彼の Tavearville 橋での現場の経験から、緊引力と伸びとが一次的な関係でないことを報告している。Knesch (ドイツ) は摩擦抵抗について理論的に取扱っている (No. 11)。

c) 定着について Champion, Hill (イギリス) はイギリスの新しいワイヤーの定着方法として、大小 2 種の方法を発表している (No. 2)。この大きい方は 1 本のケーブルの能力は 1 400 t に達し、目下 2 500 t のものを計画中とのことであつた。

Courbon (フランス) も同じく径 3.6 mm の 7 本よりのワイヤーで作られた 65 t ケーブルの新しい定着方法を発表した (No. 14)。これはこのワイヤーを鋼製のクサビで止めている。このほか Mühe (ドイツ) および Baretts (フランス) は P C 鋼線の固定端の新しい定着方法について報告している (No. 5, No. 13)。

d) P C 鋼材 Levi (イタリー) は P C 鋼線の最大 9 年におよぶリラクセーション試験を行い、この結果を報告しているが、一般的結論にまで達していないようであつた (No. 16)。Schmerber (ドイツ) は鋼線の機

械的欠点によつて、緊張後に P C 鋼線が切断することを注意しており、P C 鋼線を工事前に検査することを提案している (No. 17)。彼はこの機械的欠点の生ずる原因についても研究している。Courbon (フランス) は、径 3.6 mm のより線を P C 鋼線として用いる方法を発表し、これの長所として、曲げやすく作業しやすいこと、高度の品質のものが得られること、弾性係数が小さいのでクリープ、乾燥収縮の影響が小さいこと、等をあげている (No. 14)。このシースは薄い鋼製チューブであるが摩擦の少ないこと、グラウトの分離が少ないこと、等を利点として報告している。このほか Mühe (ドイツ) は小さいケーブルの製造方法について (No. 5)、Kajfasz (ポーランド) は P C 鋼線としてガラスファイバーの利用について、それぞれ述べている (No. 15)。

e) その他 Lessing (ドイツ) は Freyssinet 工法による Nahe 橋の施工継手、プレストレスの量、等について施工報告を (No. 18)、Vassiliev, Courec, Perelstein (ソ連) は工場建築に用いた P C 屋根バリについて (No. 19)、それぞれ報告している。

第3部会 プレキャスト工場製品の製造およびその組立方法についての研究 (5月8日 9~12時)

第3部会議長 Ostenfeld 博士 (デンマーク) のもとに New 氏 (イギリス) の一般報告があり、19 の論文が報告され、この内容は工場の生産過程、付着、桁、杭、現場組立、等の研究の多種におよんでいる。

a) 工場生産過程 Berditchevski, Svetov, Sklyar (ソ連) によつて行われた連続プレストレスワイヤーによる P C 部材生産工場の報告が興味をひいた (No. 1)。床スラブ部材は、回転台の上に P C 鋼線を緊張し、この上で連続的に作られている。まくら木は 2 本ずつ対になって生産されるが、ワイヤーは Leonhardt 工法のように 2 本の桁の中に配置して端部のジャッキで緊張してからコンクリートを施工している。壁部材は P S コンクリートの小バリ部材を直角に配置し、この間に網目状に鉄筋を配置して普通のコンクリートを打つて一体になつて構成される。屋根バリは 2~3 本のプレキャスト P C 部材を下突縁につけた結合用鋼片で一体に結んで構成している。以上の工場設備は大規模に行われている。Ager, Gifford (イギリス) はイギリスでのプレキャスト製品について報告している (No. 2)。これによれば最もよく用いられるのは 5 mm, 7 mm で、最大 28 m m まで用いられているが、より線のケーブルはあまり用いてないと述べている。これに反して Price (USA) は 7 本よりのより線ワイヤーによる二重 T 型バリの long-line-process による製造方法を報告し、スパン最大 80 ft の桁までポストテンションの P C 桁より経済

的であるとしている (No. 3)。Gerwick (USA) は工場製品による大きいハりは取扱いがむずかしくなるので、long-line process よりも、型ワクをならべて 1 本ずつ作つた方がより経済的であると報告している (No. 4)。このようにアメリカではプレキャスト製品に P S コンクリートの重点が移つているが、Smith (USA) は現場施工の P S コンクリート工事と比較してアメリカにおけるプレキャスト製品の利点を一般的に報告している (No. 5)。このほか、Vondráček (チェコスロバキヤ)、Staněk (チェコスロバキヤ)、Kirchknopf (ドイツ)、等それぞれプレキャスト製品について報告している (No. 6, No. 7, No. 8)。

b) 付着についての研究 Base (イギリス) は工場内の現実の製品について研究し、付着力におよぼす種々の影響について論じている (No. 9)。彼は部材の端部に圧力を加えて付着力を大きくすること、みぞつきのワイヤーを用いること、等について述べ、また付着力の増加におよぼす時間の影響は、みぞつきワイヤーよりも普通のワイヤーの方が、大きくなることにもふれている。Ratz, Holmjanski, Kolner (ソ連) も、みぞつきワイヤーのみぞを深くすれば付着力も大きくなること実験し、また 2 本よりのワイヤーは 1 本のワイヤーとくらべて付着力が大きいことを報告している (No. 10)。彼によれば径 16 mm の異形鋼線を用いた場合の付着力は完全であつた。この両者とも、コンクリートの強度を上げることによつて付着力を上げることができることを述べ、比較的初期にコンクリートにプレストレスを与えるための種々の条件を示している。また端部の応力状態についても測定している。

c) 橋桁 Sutherland (ニュージーランド) は 3~6 t の短かい部材をプレキャストで作り現場で継目幅 2.5 cm 間隔に継いで作つた橋について (No. 11)、Abeles (イギリス) は 2 種のイギリス国鉄の標準 P C 桁について報告している (No. 12)。イギリス国鉄の標準桁は、逆 T 型プレキャスト版を並べて、その上にコンクリートを施工して、マグネル工法でプレストレスする、比較的小さいスパンのものと、箱形断面のプレキャスト部材を並べて、その上にコンクリートを打つて一体とするスパン 18 m 以上のものについて述べている。

STUVO 委員会の報告 (オランダ) はオランダにおける、プレキャスト製品の編立てて桁を作る場合の問題点について研究している (No. 13)。これは支承上で桁の連続性を保つためには、普通の鉄筋コンクリート構造では不十分で、ここに P C ケーブルを配置してプレストレスを与える必要性について述べ、これについて 3 つの工法を説明している。このほか橋桁についてアメリカ、イギリス、ドイツの若干の論文も報告された。

d) 杭 イギリスの報告 (No. 2) は 23 m (断面 50 × 50 cm), 11~14 m (断面 25 × 25 cm), 20~27 m (断面は中空の径 45~55 cm の円形) の 3 種の P S コンクリート杭について、Price (USA) は P S コンクリート中空杭について報告している (No. 3)。

e) プレキャスト部材の現場での組立 この分野については前述の STUVO 委員会の報告 (No. 13), イギリスの報告 (No. 2) があるが, Roš (スイス) が Lasc, Donner (フィンランド) と協同で、フィンランドの発電所建物に用いた P S コンクリート ラーメン骨組に使用した方法について報告している (No. 14)。これは長さ 2 m の部材を継目幅 2 cm で結合して作られたものである。同じような屋根バリの組立について、Barredo (スペイン) が報告しているし (No. 15), Halmagiu, Scribea, Kessler (ルーマニア) もプレキャスト部材でトラスを作ることを述べている (No. 16)。

f) その他 Zieliński (ポーランド) は P S コンクリートバリよりタイドアーチ形式の方がより経済的であると、15~50 m のスパン屋根バりに、これを用いた例を示した (No. 17)。Bührer (ドイツ) は薄殻屋根をプレキャスト部材の組合わせて作ることを、Mlosch (東ドイツ) も屋根材に P C プレキャスト版で組立てることを、それぞれ報告している (No. 18, No. 19)。

第 4 部会 1955 年の第 2 回国際会議以後に作られた重要な P S コンクリート構造物についての報告 (5 月 6 日 20~22 時, 5 月 8 日 15~18 時)

第 2 回の Amsterdam の国際会議以後に各国で作られた新しい P S コンクリート構造物で、設計および施工に特徴がある重要なものについての報告が 2 回に分けて行われた。この第 4 部会の前半は部会議長 Jewgraphow 氏 (ソ連) のもとに、後半は部会議長 Lin 教授 (USA) のもとにいずれも Dumas 氏 (フランス) の一般報告が

あり、30 の区分について、合計 99 の報告が行われた。ここでは、この 3 年間になされた橋梁、水槽、建築、等あらゆる分野にわたる構造物について報告され、P S コンクリートの一段の進歩を示している。このなかには、Bruxelles 万国博覧会のための橋梁および建物、Paris の博覧会場、Tancarville 橋橋台、Voulte 鉄道橋、Errguene ダム、Casalmaggiore の Pó 川橋梁、Koblanz の Rhein 川橋梁、ベルリンの Dischinger 橋、ベルリン市会議場、Pontchartrain 橋、等著名な構造物が報告され、このほか、ドイツ、チェコスロバキヤ、等の鉄道橋も報告された。日本からは極東鋼鉄 KK によつて金剛大橋および P S コンクリートまくら木の現状との報告がなされた。

3. あとがき

部会報告の間には、ソ連における P S コンクリートの映画 (5 月 8 日 8~9 時) が上映され、また、この間に 3 回に分けて見学会が行われた。

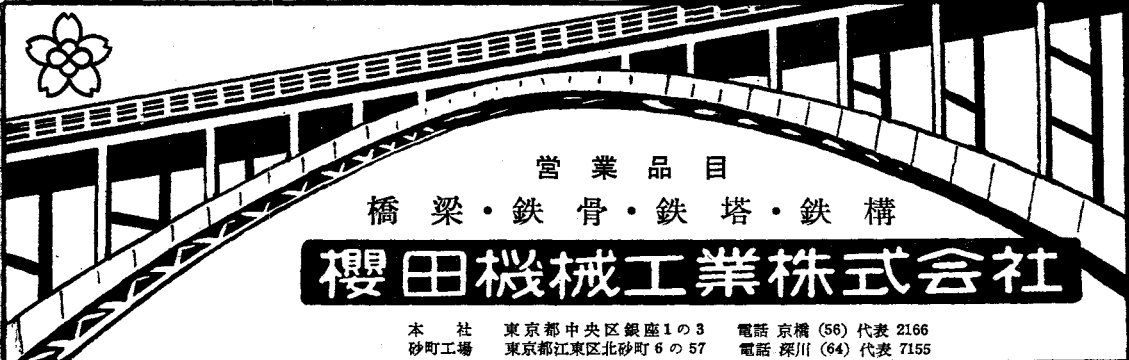
5 月 7 日 14.30~18 時 ベルリン市内見学

5 月 9 日 8.30~18 時 ベルリン市内 P S コンクリート現場見学

5 月 10 日 8 時~ ベルリン市郊外見学

現在ベルリン市内には地下鉄、高速道路の建設等、土木工事がさかんであり、Nord-westbagen 高速道路橋、Nördliche Seestrassen 橋等の P C 橋梁現場以外にも、容量の大きい水槽、タンク等の P S コンクリート工事があつて、活気のあるベルリン市の復興を反映して、現場見学会はきわめて有益なものであつた。また、会場には、ドイツ、フランス、等の新しい P C 工法の展示会が行われ、P C まくら木、プレキャスト製品、新しい P C 鋼材、等も出品されていた。

以上の報告作製に当つて、北大板倉教授の御指導を載せたことを記し、厚く御礼申上げる次第である。



営業品目
橋梁・鉄骨・鉄塔・鉄構

櫻田機械工業株式会社

本社 東京都中央区銀座1の3 電話 京橋 (56) 代表 2166
砂町工場 東京都江東区北砂町6の57 電話 深川 (64) 代表 7155