

委員会報告 「セメントコンクリート試験装置調査研究委員会報告」

笠井芳夫^{*1}, 湯浅昇^{*2}

<委員構成>

| | | |
|-----|------|--------------|
| 委員長 | 笠井芳夫 | 日本大学 |
| 幹事 | 辻 幸和 | 群馬大学 |
| | 野口貴文 | 東京大学 |
| | 湯浅 昇 | 日本大学 |
| 委員 | 十河茂幸 | (株)大林組 |
| | 依田彰彦 | 足利工業大学 |
| | 魚本健人 | 東京大学 |
| | 辻 正哲 | 東京理科大学 |
| | 大門正機 | 東京工業大学 |
| | 河野広隆 | 建設省土木研究所 |
| | 阿部道彦 | 建設省建築研究所 |
| | 眞野孝次 | (財)建材試験センター |
| | 田村 博 | (財)日本建築総合試験所 |
| | 岩下直義 | (社)セメント協会 |

| | | |
|-----|------|----------------------------|
| 委員 | 後藤一男 | (社)島津製作所 |
| | 内藤晶弘 | (株)丸東製作所 |
| | 鈴木一雄 | (社)全国生コンクリート工業組合 連合会研究所 |
| | 吉兼 享 | 大有建設(株) |
| | 横山 滋 | 太平洋セメント(株) |
| | 高田 誠 | (株)エヌ・エム・ビー |
| 事務局 | 渡部 隆 | (社)日本コンクリート工学 協会 |

<作業部会>

| | | |
|----|------|------------|
| 委員 | 辻 正哲 | 東京理科大学 |
| | 横山 滋 | 太平洋セメント(株) |
| | 岩下直義 | (社)セメント協会 |
| | 湯浅 昇 | 日本大学 |
| | 笠井芳夫 | 日本大学 |

1. はじめに

わが国にコンクリートが導入されて100年以上を経過した。

この間コンクリートは、わが国の土木・建築構造物の主要な材料として発展を遂げ、1985～1990年頃の最盛期には、セメントの生産量は年間約1億トンとなりレディミクストコンクリートの生産量は約2億 m^3 に達した。現在の不況下においても最盛期の70～80%を維持している。

この様に、セメント・コンクリートは建設材料として最も重要な位置を占めている。この調査研究委員会は、わが国のコンクリート産業を支えてきたセメント・コンクリートの試験装置の調査研究を目的として、平成10年4月に設立された。

当初の目的としてあげた委員会の主な目標は、以下のようであった。

- (1)既に役割を終えた試験装置・器械などが次々と廃棄されているが、それらの装置を記録に留め、できれば保存の切っ掛けをつくりたい。
- (2)若い研究者が試験装置の開発や研究の際、既往の試験装置などを検索して研究のヒントを得るための資料としたい。

ところが、いざ活動をはじめてみると、後述するように、いくつかの障壁が明らかとなり、そのため当初の目標とはやや異なるところも生じてきた。そこで、試験装置の検索などに便利なようにするという意図を進めて、セメントの製造関連、過去の試験方法とこれに用いられた装置あるいはJIS、JCI規準をはじめ、土

※1 日本大学名誉教授 工学博士 (正会員)

※2 日本大学生産工学部建築工学科専任講師 博士(工学) (正会員)

木・建築学会規準などに規定された試験などについて装置器具などを集録した。

報告書の内容は①セメントの製造、②コンクリート材料の試験、③フレッシュコンクリートの試験、④コンクリートの初期性状・早期迅速試験、⑤硬化コンクリートの試験、⑥各種コンクリートの試験、⑦汎用機器とした。

委員会の報告書は、委員会としては可成り努力した積りであるが、短時間でまとめたため未熟なところが多々あります。読者各位におかれましては、是非お気付きの点をJCI事務局、あるいは研究委員にご教示下さい。何かの機会に訂正できればと考えています。

2. 調査研究の経過

この調査研究委員会は、平成10年4月に発足した。

委員会は、平成10年度、11年度を通じて8回開催し、WGの会合は3回開催した。

平成10年6月には全国の土木・建築系大学・高専のコンクリート系教員、建設業の研究者、セメント会社、混和材料会社などにアンケート調査表を発送した。

平成10年10月1日には大学・高専の教員によって構成されている第25回セメント・コンクリート研究討論会(秋田大学)において調査票を配布して協力をお願いした。

平成11年7月7～9日には、JCI 1999年度年次大会(仙台)において、コンクリートフェアに「セメント・コンクリート調査研究委員会」のコーナーを設け、セメント製造関連の写真、商標、試験器機の写真、試験装置などを33点展示して、調査票を配布し、協力をお願いした。有益な情報をその場で提供して頂いた方は43名であった。(写真1参照)

これらの調査結果およびそれぞれの委員の調査結果を分担して調査表の作成を行った。

調査研究活動の経過につれて、研究委員会の発足当初から危惧されていた調査表の回答率が低いことが明らかになった。調査範囲をどのよ



写真-1 JCIコンクリートフェアの様様

うにするか判断が難しく研究活動は予期した程進展しなかった。その理由を述べれば以下のようである。

(1)試験研究に使用され、役割を終えた装置の多くは旧式となったり、新しい高性能の器機に替わってゆく必然性があること。

(2)JIS、その他関連学協会の試験方法・規準などが変わると、旧試験装置を維持するためのスペース、維持費などが計上されないため、順次廃棄される。

(3)セメント・コンクリートの研究のため試作された装置・器機などは研究が終了すると、特別のものを除き引続き使用する機会がなくなり、廃棄処分される。

(4)試験研究の担当者の移動、定年退職や、次の研究者の研究テーマが相違するなどの理由によって、試験装置が使用されなくなり、やがて廃棄される。

このほか、調査研究を進める上で多くの障壁が明らかになり、当初の研究目的をある程度変更せざるを得なくなった。

変更箇所は、次項で述べるが、特に貴重な古い試験装置に限定せず、通常使用されているようなものも含むこととした。

3. 報告書とりまとめの方針

報告書のとりまとめは以下のような方針による。

(1)セメントの製造に関する項目を設けた。

わが国のセメント製造は明治10年代から始まっており、約120年経過している。また近年におけるメーカーの合併などもあるので、セメントの包装や商標の調査を行った。

(2)セメント・コンクリートの試験装置については、現行J I S、学協会関係の規準などの試験方法およびこれらに用いられている装置・器械なども集録することにした。これらは試験研究を行う際の装置・器械の選択に役立つものとする。

(3)これまで行われてきた膨大な研究に用いられた試験方法、装置などについて、できるだけ集録するようにした。

4. 試験装置調査表のフォーマット

試験装置調査表のフォーマットは、原則として次の項目を記入することとした。

- ①試験装置(メーカー)
- ②目的(用途)
- ③原理、機能、性能、特徴
- ④所有者(考案者)
- ⑤関連論文、関連規格
- ⑥現状(備考)

これらの項目はそれぞれ装置・器械の種類、試験項目で若干異なることとなった。

5. 調査表

調査表の目次と調査項目数を表-1に示した。調査項目は全部で770である。取上げた試験装置の範囲は項目によって若干異なり、ワーカビリティ試験のように比較的詳細なものもあれば、そうでないものもあるが、対象が広範囲におよんでおり、未成熟なところが残ってしまった。

6. 特筆すべき調査結果

6.1 ワーカビリティ試験装置

コンクリートのワーカビリティは実に複雑な性質を持っている。

いわゆる、硬練りコンクリート、中練りコン

表-1 調査表の目次と調査項目数

| | |
|-------------------------------------|-------|
| 0. セメントの製造 | [32] |
| 1. コンクリート材料の試験 | [170] |
| 1.1 セメントの試験 | (59) |
| 1.2 骨材の試験 | (45) |
| 1.3 混和材料の試験 | (56) |
| 1.4 水質試験 | (10) |
| 2. フレッシュコンクリート | [95] |
| 2.1 セメント・モルタルの試験 | (14) |
| 2.2 コンクリートのワーカビリティ試験 | (39) |
| 2.3 単位容積質量・空気量試験 | (5) |
| 2.4 調(配)合推定試験 | (17) |
| 2.5 混和材料の含有量推定試験 | (9) |
| 2.6 塩化物含有量試験 | (11) |
| 3. コンクリートの初期性状・早期迅速強度試験 | [37] |
| 3.1 断熱温度上昇試験 | (13) |
| 3.2 ブリージング・初期容積変化試験 | (8) |
| 3.3 凝結試験 | (4) |
| 3.4 初期強度試験 | (3) |
| 3.5 早期迅速強度試験方法 | (9) |
| 4. 硬化コンクリートの試験 | [284] |
| 4.1 調(配)合推定試験 | (6) |
| 4.2 水和率推定試験 | (13) |
| 4.3 物理・化学的試験 | (19) |
| 4.4 塩化物含有量試験 | (-) |
| 4.5 単位容積質量試験、空気量・気泡分布の試験 | (12) |
| 4.6 圧縮強度試験 | (14) |
| 4.7 圧縮強度以外の各種強度試験 | (38) |
| 4.8 弾性係数試験 | (23) |
| 4.9 クリーブ試験 | (8) |
| 4.10 容積変化試験、ひびわれの試験 | (29) |
| 4.11 吸水・透水・透気性試験 | (13) |
| 4.12 耐久性試験 | (25) |
| 4.13 耐熱・耐火試験 | (44) |
| 4.14 非破壊試験 | (40) |
| 5. 各種コンクリートの試験 | [105] |
| 5.1 水中不分離性コンクリート | (10) |
| 5.2 逆打ちコンクリート | (13) |
| 5.3 グラウト | (14) |
| 5.4 プレバックドコンクリート | (5) |
| 5.5 繊維補強コンクリート | (6) |
| 5.6 ポリマーコンクリート | (9) |
| 5.7 オートクレープ気泡コンクリート(ALC) | (4) |
| 5.8 流動コンクリート | (15) |
| 5.9 レディーミクストコンクリート製造における品質管理および検査方法 | (6) |
| 5.10 軽量骨材コンクリート | (8) |
| 5.11 超硬練りコンクリート | (10) |
| 5.12 その他 | (5) |
| 6. 汎用機器 | [47] |
| 6.1 物理化学試験機器 | (19) |
| 6.2 構造物試験機・強度試験機 | (28) |

クリート、軟練りコンクリートという表現があり、最近では超軟練り(流動)コンクリートが出現している。

これらに対応して、施工条件などに応じて流動性試験、粘性試験、分離性試験、貫入試験、充填性試験など実に多様な試験法がある。

コンクリートのワーカビリチー判定試験方法の系統図

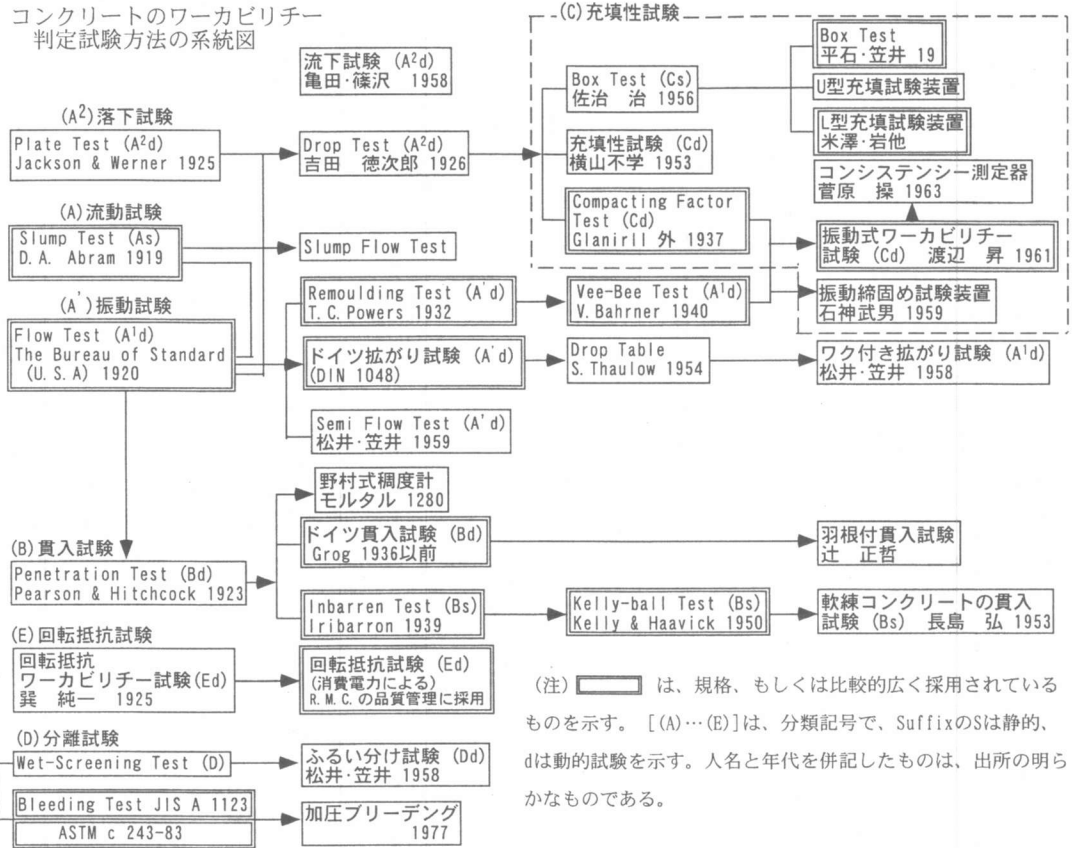


図-1 コンクリートのワーカビリチー判定試験方法の系統図

図-1は、これらの性質および分類図である。今回の調査研究において、コンクリートの各種試験全般について歴史的な経緯をふまえ、系統図的なものの作成を考えたが実現しなかった。

この様な研究は、1~2人の研究者が時間をかけて、取組む性質のように思われる。

6.2 メンゼル型エアメータ

この調査研究委員会の設立主旨の中に「メンゼル型エアメータさえも既に見られなくなってしまう」とあったが、実はメンゼル型エアメータはJIS A 1117(まだ固まらないコンクリートの空気量の圧力による試験方法-圧力方法)または水柱圧力法とも称し、1952年に制定されていた。

(注) は、規格、もしくは比較的広く採用されているものを示す。[(A)⋯(E)]は、分類記号で、SuffixのSは静的、dは動的試験を示す。人名と年代を併記したものは、出所の明らかなものである。

図-2は、その概念図である。

当時は、現在のJIS A 1128(フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法-空気室圧力法)通称ワシントン法は、JISに規定されていなかった。JIS A 1128は1960年に制定され、JIS A 1117は1975年に廃止されたが、現行JIS A 1128-1999には附属書試験方法が記載されている。これはISOにこの試験方法が規定されているためである。

この様にやや複雑な経緯がある。

6.3 早期迅速試験の必要性

コンクリートは硬まってしまうと、ほとんどやり直しがきかない材料である。そこで直前に受入検査を行い、合格したものを型枠に打込むのが理想である。

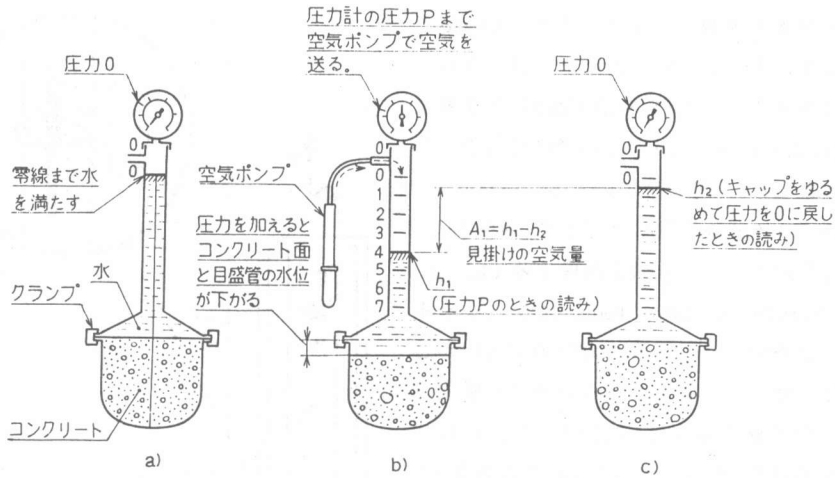


図-2 水中圧力法による空気量測定概念図

ところが、J I Sに規定されたフレッシュコンクリートの試験としては、スランブ試験、空気量試験、単位質量試験、ブリージング試験程度で、最も重要な強度、耐久性などに関する早期迅速試験方法は充分開発されていない。

A I J, J C Iは、1973年のオイルショック後この試験方法について取組み、多くの成果を得たが、規準を制定し発表した頃からバブル景気が来て、コンクリートは作ればよいという時代になり、早期迅速試験などは全く忘れられてしまった。

ところが、またここに来てコンクリートの価格競争が激しくなり、コンクリートの品質に危惧を持つような傾向が生じてきて、フレッシュコンクリートの単位セメント量試験、単位水量試験が見直され、J C I基準を改良したような試験方法が2, 3提案されるようになった。そろそろ共同試験を行って、J I S化する必要がある。

6.4 構造体コンクリートの試験方法の開発

構造体コンクリートの試験方法としては、現在、 $\phi 10\text{cm}$ のコアを採取して、中性化深さと圧縮強度を試験するのが一般的である。

近年、各種非破壊試験方法が開発され、更に微破壊試験とも称すべき小孔をあけて中性化深

さ、透気性、吸水性試験などが行われるようになった。更に直径30~50mm程度の小径コアを採取して単位セメント量、単位水量、圧縮強度などを試験する方法が開発されている。

このほか、超音波による板厚、ひびわれ深さ試験、レーダや電磁誘導試験による鉄筋探査、赤外線による異状探査なども徐々に進歩してきている。

これらを更に進めて、竣工時の保証のための試験、構造物の健全性の評価(劣化程度、寿命予想のための評価)、補修・補強のための資料を提供する試験方法を開発すべきである。

6.5 マルテンス歪計

マルテンス歪計は、コンクリートのように歪量の極く小さい固体の歪を図るのに広く用いられたが、1956~1957年頃になって電気抵抗線式歪計や、1/1000mmダイヤルゲージが普及した結果、用いられなくなった。今回マルテンス歪計を探したが、足利工大と建築研究所にあった。既に貴重な装置になってしまった。図-3は、その原理図である。

6.6 実験にもとづくコンクリートの力学的性質の解明

コンクリートの力学的性質の解明に内外の多

数の研究者が力を尽してきた。第2次大戦後、笠井が大学に入ったとき、先輩からコンクリートの勉強をするなら、「常磐書房版第4巻高等建築学4編吉田宏彦著 材料の力学的性質」を読むようにと言われた。早速神田の古本屋へ行って、昭和13年2月改訂版を見つけてきて、勉強した。この本を読んでいくと吉田宏彦博士著 Über das elastische Verhalten von Beton, Berlin. 1930 という本があることを知り、この本を大学の図書館かどこかで見つけてきて読んだ。この著書に触発されて、大学の修士論文は「コンクリートの降伏点に関する研究」(日本建築学会論文報告集(大会号)1部 1957. 07. pp. 45-52)をまとめた。漸増する繰返し荷重をアムスラ型200ton圧縮試験機を用いて手で10,000回まで昼夜を徹して載荷し、コンクリートのひずみを弾性成分と塑性成分に分離した。このときひずみの測定に使用したのが、マルテンス歪計であったが、今にして思えば、神技とまでは言えないが、大変な試験であった。抵抗線歪計や差動トランスによる歪測定に比し、経験と忍耐を必要とした実験であった。これらの仕事は全て学部の学生が卒業研究として行なってくれたものである。

吉田宏彦博士のように70年以上も前に行なった実験や、笠井自身の45年も前の実験を持ち出したのは、今日のように高級な試験機がなくとも結構面白い実験ができるということと言いたかったためである。コンクリートの性質について試験方法の立場から整理究明することは、これからの研究に役立つものと確信する。

6.7 オルセン型万能試験機

この試験機は、1920年代に輸入されたようである。九州大学には1925年米国製オルセン万能180tf試験機が現存する。日大には1937年製の前川試験機(株)製の50吨万能試験機がある。

オルセン型試験機の特徴は歯車によってローディングシャフト(載荷軸)を変位させるため、ひずみ速度一定の試験が可能である。

荷重はテコ装置によって平衡させて計量する

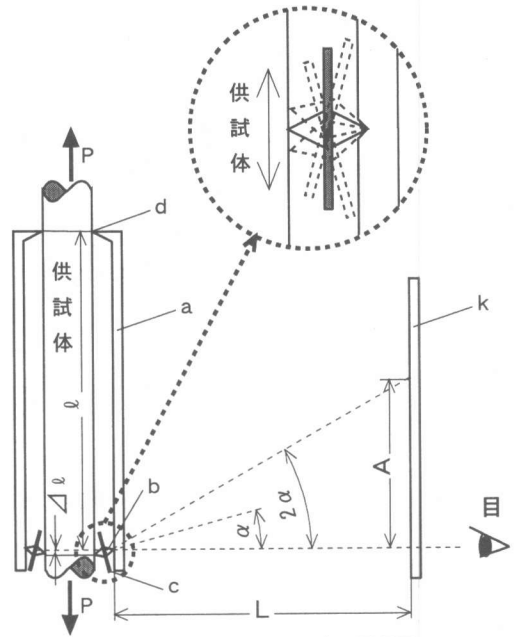


図-3 マルテンス歪計の原理図

bは菱形のナイフエッジ、これに鏡cが取り付けられている。荷重pによって生じたひずみがナイフエッジの微小な鏡の回転角となって拡大されて、スケールkの上にAとして鏡の上に現れ、望遠鏡によって読みとられる。抵抗線ひずみ計が使用される以前(1955年頃まで)はコンクリートのひずみ測定に使用された。ひずみ Δl は次式によって計算される。

$$\Delta l = \frac{Ah}{2L}$$

ので、荷重目盛を刻んだ長いアームがあり、このアームに沿って手で錘を平衡させながら移動させて最大荷重を求める。油圧式に比し、繰返し荷重の載荷などには不向きである。

九州大学の試験機も日大の試験機も何時まで保存できるか明らかでなく、何とか後世に残したいものである。

6.8 北大リーレー四百吨連動式材料試験機物語

この試験機は、日本のRC構造学の草創期にIllinois工科大学Talbot教授のところで勉強し、主席で卒業したといわれている阿部美樹と深い因縁があった。以下は建築雑誌1987年6月号、60頁に掲載された文章から抜粋したものである。

1924年(大正13)北海道大学に工学部が新設される際、土木工学科教授予定者として阿部美樹

志が紹へいされ、Illinois大学に再び短期間留学した。

当時の教授予定者は研究用機器を海外の留学先で発注する権限を与えられていたようで、彼はIllinois大学Talbot研究室で使用していたものと同型のリーレー四百吨連動式材料試験機を発注してきた。やがて試験機は小樽港に到着した。しかし、常識外れの高額(推定現在価格1~2億円)であったため、後始末が紛糾し、阿部は責任を取って北海道大学への赴任を辞退し、高さ8mの巨大な試験機のみが設置された。試験機は1964(昭和39)年に廃棄処分されたが、そのフレーム部分のみ今日建築工学科大型構造物実験室(大野博士記念実験室)に再建されている。Illinois大学の同型機は、Talbot以下数々の巨匠を世に送り出し、今なお現役で活躍中とのことである。

以上は冒頭に述べたように建築雑誌の要約であるが、この試験機は仄聞するところによると、誰も使用したことはなく、40年経過して廃棄されたという。阿部先生にとっても試験機にとっても悲しい物語である。

7. 今後の課題

7.1 セメント・コンクリートの発展に力を尽した人々の業績調査を

今回の調査に当たって、委員会としては、アンケート調査表の配布など資料収集に努力した。

しかし、これに答えてくださった方は少なかった。本調査研究委員会の当初の目的が旧試験装置の調査、できればこれを機会に台帳を作り、保存したいというようなことであったので、調査表をもらっても、何が旧式なものか、何が貴重なものか、その判定基準がつまびらかでなかったように思う。従って「対応の仕様がな」というようなことがあったかも知れない。また土木・建築の大学は創設後約30年位のところが多く、比較的試験装置なども新しいこともあったように思う。前述「2. 調査研究の経過」でも述べ

たように、役割を終えた試験装置は順次に廃棄される運命にある。

更に、大きな原因のひとつは、時間をかけて調査表を作成しても、このような作業はいわゆる研究業績にならないことである。

そこで本格的調査研究を行い、その作業が業績となるためには、特定の人物を定め、JCIとして1~2名の個人に依頼して、2~3年位の期間を掛けて、セメント・コンクリートの研究に力を尽した人々を調査するようにし、その成果をコンクリート工学、コンクリート工学年次大会などに報告することによって、研究成果となるのもと思われる。

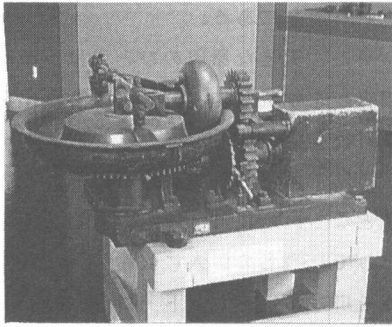
また順次資料を蓄積してゆけば100年以上にわたる間に大変な数の人達がこれに携り、如何に今日のセメント・コンクリート産業に寄与したか明らかになろう、そうして現在この産業に携っている企業人、研究者などの夢が膨らむことになろう。これは大きなエネルギーとして地下から上昇してきたマグマの様に必ず、この業界の発展の礎となるものと思われる。是非実現したいものである。

7.2 セメント・コンクリート博物館の創設を

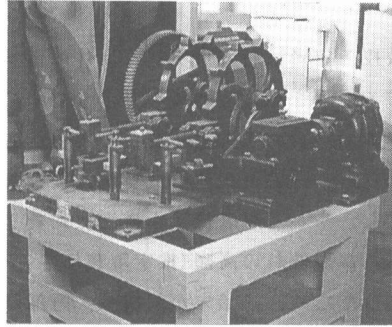
この調査を行って特に感じたことは、セメント・コンクリート産業は現在不況とはいえ、年間10億トン程度の資源を消費する産業である。これはわが国マテリアルフローの40%にもおよびるのである。売上は2兆円以上の大産業である。かつ、セメント産業は明治10年代から100年以上も営々として経営している、わが国屈指の無機化学工業の雄でもある。

このような伝統ある産業においてセメント・コンクリートの歴史の厚みを一般の人々に伝え、理解してもらうためには、セメント・コンクリート博物館や相談室の創設がぜひ必要と考えられるようになった。ちなみに船の博物館、鉄道博物館、木材の相談所など多様なものがある。

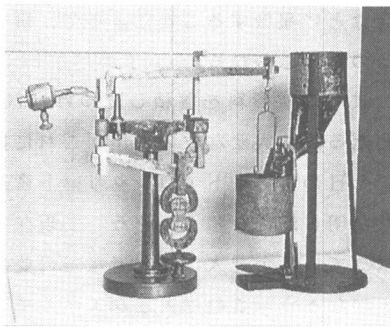
コンクリートにゆかりの深い博物館としては、北海道小樽市に北海道開発局による「おた



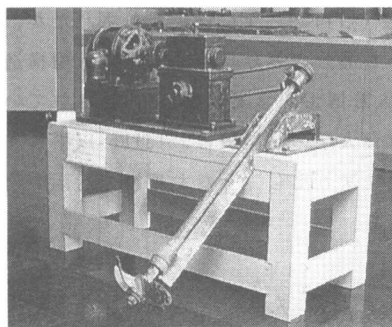
a) 標準混交機



b) 鉄錠機



c) ブリケット試験体の引張試験装置



d) 養生水槽の攪拌装置

写真-2

るみなと資料館」があり、小樽港建設の歴史を知ることができるになっている。資料館のパンフレットによると長期試験用モルタル供試体が100年後の現在でも約4,300個保存されているという。また当時供試体の製作に用いられた装置が保存されている。防波堤は現在でも健全であり、そのコンクリートの調合、施工をはじめ、工事所長を努められた大先輩である広井勇博士、伊藤長右衛門氏の業績が顕彰されている(写真2参照)。

小学生から大人まで、モルタル・コンクリートを手に触れ、何かつくってみることのできる場所が欲しい。

そこには、石灰石の採掘の様子、古い竪釜の焼成炉、長大キルン、SPキルンなどの写真や模型があり、セメントはどうして固まるのか、セメント・コンクリートの耐久性の話など、セメント・コンクリートについての勉強ができる

ようにし、子供たちにセメントを焼いたり、土木・建築の技師になって建設物を作る仕事に就きたいというような夢を与えることができるようにしたい。

これは、是非われわれ大人が本気になって取り組みたい課題である。

謝辞

報告書をまとめるに際し、調査にご協力をいただいた方々と、委員各位、特に最終にとりまとめに多大な時間と労力を費やしていただいた、辻正哲、横山滋、岩下直義の諸氏に謝意を申し上げる次第です。