

技術展望

Technical over view

技術展望

混和材料の歴史

HISTORY OF CEMENT ADMIXTURES

樋口 芳朗*

By Yoshiro HIGUCHI

論文集編集委員会が今回の連載を企画された趣旨には「コンクリートが今後進むべき方向を探り、コンクリート技術者・研究者を鼓舞する意味で、先人のたどった道、果たした役割等を振り返る企画をたてることにした」とある。種々の事情¹⁾で年表の作製などが最も困難と思われる部分の執筆を引き受けた以上「恥をかく」ことは当然覚悟しなければならない。そもそもこのようなところでこのような内容のものを書くことはやめようとの自戒を破った以上自業自得である。ミスや調査不十分の点は訂正すること、見解の相違については討議に応じること——以上のことを最初に約束し、ご教示を切願しておく。こうしてのびのびと私見を述べ平然と訂正することも、あるいは若い方々を鼓舞するかもしれない——こう居直って書き進むので、どうか遠慮なく批判して頂きたい。

女々しい限りであるが「真実は神のみぞ知る」という例から始めさせて頂く。エイブラムズが最初に水セメント比法則を発表したというのは全くの誤りであり²⁾、アスプジンがポルトランドセメントの発明者であるというのは英米の談合結果に過ぎない³⁾——こう述べれば反感をもよおす方もおられるであろう。しかしこういったほうが真実に近いのである。このようなことは何もセメント・コンクリート界に限ったものではない。児童心理学の本などに必ず出てくる狼少女「アマラとカマラ」物語は作り話くさいという⁴⁾。私の書いたこの論説などミスだらけでも不思議ではない。再言する——何とぞ厳しく批判されんことを。

年表を作製するにあたってはセメント・コンクリートの創刊500号記念号⁵⁾を参考とさせて頂いた⁶⁾。冒頭で

* 正会員 工博 東京理科大学嘱託教授
(〒278 野田市山崎 2641)

Keywords : history, cement admixture

深甚の謝意を表する次第である（注はほとんど私見によった。したがってこの部分が主として批判の対象となる）。

年号	事項
1948 (昭23)	AE 剤導入 ⁷⁾ 。
1950 (昭25)	ポルトランド・セメント、高炉セメント、シリカ・セメントの日本工業規格 (JIS) 制定 ⁸⁾ 。 減水剤 (リグニン系遅延剤) ⁹⁾ の導入。 フライ・アッシュの紹介 ¹⁰⁾ 。 防水剤の普及。
1952 (昭27)	建設省通達、住指発「コンクリートに使用される細骨材中に塩分が含まれる場合の取扱いについて」 ¹¹⁾ まだ固まらないコンクリートの空気量の試験方法の JIS が三方法制定された ¹²⁾ 。 平岡ダムにおいて大工事としては初めて AE コンクリート採用。
1953 (昭28)	レデー・ミクスト・コンクリートの JIS 制定 ¹³⁾ 。 フライ・アッシュを本格採取するための設備が宇部につくられる ¹⁴⁾ 。
1954 (昭29)	建築用セメント防水剤の JIS 制定 (1960 年廃止) ¹⁵⁾ 須田貝ダムにフライ・アッシュを大量使用。 本名ダム工事で減水剤初使用。 プレバクト・コンクリート用混和剤導入 ¹⁶⁾ 。 MIP 工法導入 ¹⁷⁾ 。
1955 (昭30)	建築用現場打ち気泡コンクリート工法の導入。 ダムに高炉セメント初使用。
1956 (昭31)	土木学会 RC 示方書が改訂され、AE 剤規格案、フライ・アッシュ規格案制定。 フライ・アッシュをペースト状にして使用した奥只見ダム竣工 ¹⁸⁾ 。
1957 (昭32)	八久和ダムでダム本体に減水剤初使用。
1958 (昭33)	フライ・アッシュの JIS 制定。 高炉セメント原料用にスラグ微粉末製造。
1960 (昭35)	フライ・アッシュ・セメントの JIS 制定。
1962 (昭37)	わが国で高性能減水剤開発 ¹⁹⁾ 。 技術導入により ALC 発売。
1964 (昭39)	青函トンネルで吹付けコンクリート施工 ²⁰⁾ 。

年号	事項
	ポリマー・セメント・モルタル普及。
1965 (昭 40)	膨張材の製造販売開始 ²²⁾ 。
1966 (昭 41)	土木学会 AE 剤規格案, 減水剤規格案制定。
1968 (昭 43)	日本材料学会「構造用コンクリートに用いる化学混和剤規準案」制定。
1969 (昭 44)	高性能減水剤とオートクレーブ養生による超高強度パイル発売 ²²⁾ 。
1970 (昭 45)	日本でスラグ微粉末発売 ²³⁾ 。
1972 (昭 47)	山陽新幹線 新大阪-岡山間開通 ²⁴⁾ 。
1973 (昭 48)	ポルトランド・セメントの JIS 改正。 超早強セメント規格化。1% 以下の粉砕助剤使用許容。 防錆剤市販。
1974 (昭 49)	恵那山トンネルで SFRC 採用。 GRC の導入。
1975 (昭 50)	海砂問題とりあげられる ²⁵⁾ 。 流動化コンクリート普及 ²⁶⁾ 。 欠陥生コン事件 ²⁷⁾ 。
1976 (昭 51)	膨張性混和材協会発足。
1978 (昭 53)	ポリマー・セメント・モルタル関係の JIS 4 件制定。 日本建築学会で「膨張材を使用するコンクリート」「高炉セメントを使用するコンクリート」「フライ・アッシュを使用するコンクリート」等についての調査設計, 施工指針案」制定。「コンクリート用表面活性剤使用指針案」制定。
1979 (昭 54)	本四公団モルタルプラント船「世紀」建造 ²⁸⁾ 。 土木学会「膨張コンクリート設計施工指針案」制定。
1980 (昭 55)	ポルトランド・セメントの JIS 改正。 セメントの 5% 以下の混合材使用許容 ²⁹⁾ 。 コンクリート用膨張材の JIS 制定。 起泡剤を用いたセメント系 ALC 大型パネルの生産開始。 特殊水中コンクリート用混和剤導入 ³⁰⁾ 。 ポリマー添加モルタルの試験方法の JIS 制定。
1982 (昭 57)	鉄筋コンクリート用防せい剤, コンクリート用化学混和剤の JIS 制定。 収縮低減剤の市販開始。 コンクリートの耐久性問題がとりあげられる ³¹⁾ 。
1983 (昭 58)	日本建築学会「流動化コンクリート施工指針案制定」。 土木学会「流動化コンクリート施工指針案」制定。
1984 (昭 59)	北海用石油採掘リグの外壁軽量骨材コンクリート用にシリカ・ヒュームを輸入使用。 NHK テレビ コンクリート・クライシス放映 ³²⁾ 。
1985 (昭 60)	建設省総プロ「コンクリートの耐久性向上技術の開発」 シリカ・ヒューム混入超緻密セメント導入市販。
1986 (昭 61)	無塩化物型コンクリート防凍剤市販 ³³⁾ 。 ポルトランド・セメントの JIS 改正。 低アルカリセメントを規格化 ³⁴⁾ 。 土木学会「コンクリート用高炉スラグ微粉末規格案」制定。 六本木アークヒルズ CFRC ³⁵⁾ カーテンウォール採用。
1988 (昭 63)	青函トンネル開通 ³⁶⁾ 。 土木学会「高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの設計施工指針案」制定。
1989 (昭 64)	ハイパフォーマンスコンクリート登場 ³⁷⁾ 。

注

1) 混和材料の種類がきわめて多いこと, 各製品について一番よく知っているのは著者などでなく各メーカーであること, セメントのように完備した年表がつけられていないこと等の悪条件が重なる。

2) 水セメント比法則よりさらに一般的な空隙セメント比法則をフランス人 Feret が発表したのは 1892 年であり, Abrams が水セメント比法則を発表した 1919 年より実に 27 年も先立っている。Abrams のオリジナルな功績としては粗粒率の提唱を挙げるべきであろう (コンクリート工学 '81.11 の拙稿参照)。

3) 寺本秀男「セメントのあらし」(山田・有泉編セメントとコンクリートの歴史, 鹿島出版会) ポルトランドという名を最初にいったのはイギリス人 Smeaton であり, 現在のポルトランド・セメントに近いものを初めて詳細に述べたのはフランス人 Vicat であった。オリジナルな功績としてはクリンカーを粉砕する際, 少量の石こうを混ぜることを発明したフランス人 Giron のことも忘れるべきではなかろう。

4) 1920 年ジング牧師により発見されたというこの物語をアメリカの心理学者オグバーンが徹底的に調査したところ, 牧師は直接救出したのではなかったし, 救出したとき狼がいたというのは虎だったかなというようなあやふやな話だった (1959 年発表)。それでも「お吉物語」が観光下田にはつごうがよいので消えないように狼少女物語は大手をふってまかり通っている。

5) 笠井, 森山, 永嶋, 兎玉, 大濱, 八木, 富田, 伊部, 内田「コンクリートの改質材料の展開」の付表はたいへん参考になる。また巻末の「コンクリート技術変遷年表」も有益である。

6) 混和材料が本格的にコンクリート材料としての市民権を得たのは戦後導入された AE 剤以来といってよいから, 年表は戦後から始めることとした。それまでも色のついた粉の防水剤などというものはあったが, それを混和すると良く混ぜざるを得ないので良い結果が得られるといった面が強かったといわれる。

7) AE 剤はコンクリート界を文字どおり革命的に改善したといってよい。1930 年後半, この AE 剤がアメリカで発見されていたというのは, 圧倒的だったアメリカの底力を示す指標として銘記されるべきである。凍結融解作用に強いということで登場した AE コンクリートは最初特殊コンクリートに分類されていたが, ワークビリティ改善に著効を現わすことが明らかとなるにつれて寒地以外でも用いられるようになり, 今では周知のとおり最も一般的なコンクリートとなっている。

8) ポルトランド・セメントが支配的に用いられてきた。水砕スラグを混合材として用いる高炉セメントがド

イツなどで多用されているのと明白なコントラストを示してきた。

9) 当初セメント分散剤として導入された減水剤は水に代わるものとして画期的なアメリカの発明だった。しかし、この減水剤が AE 剤にならぶ地位を確保したのは高性能減水剤に発展した時点からである。注 19) 参照。減水剤の先駆となったリグニン系減水剤は遅延作用を有していたため、当初は塩化物の促進剤と併用されることが多かった。鉄筋コンクリート構造物の耐久性問題がクローズアップされるにつれて無塩化されていったのは周知のとおりである。

10) 高炉スラッグの活用についてわが国は遅れていたが、フライアッシュの活用については非常に積極的であった。

11) 実施不可能といえる厳しい規定であった。建築界での規定であったが、土木界にも適用されて混乱を招いたことは周知のとおり。「可勢によって易道を求む」という韓非子の名言が改めて肝に銘じられるべきであろう。

12) 現場で歓迎される実用的な方法が結局残った過程を勉強すると有用である。

13) 当初はアメリカの規格に全面的にならって制定された。レデー・ミクスト・コンクリートの地位が上がるにつれてこの JIS の重要性も増してきた。この改訂の跡をたどることにより、わが国のコンクリートの歴史を大観することが可能といえる。

14) 大丸のある東京駅の八重洲ビルにも使われた。

15) 防水剤と急結剤を混同していたので整理する必要があった。

16) 昭和 27 年導入された Prepakt Concrete が実施段階に入り、その専用混和剤である Intrusion Aid が発売された。この混和剤の先駆性は、減水剤と増粘剤（水中不分離コンクリートの先駆）とアルミ粉末の巧妙な組合せという点にみられた。アルミ粉末を土木界で初めて本格的に用いたことも注目される。

17) このセメント改良土を用いた工法は導入当初あまり実用化されなかった。しかし現在、土を固めるため広範に応用されている（セメント・コンクリート、No. 511, '89.9 参照）。

MIP 工法より PIP 工法のほうが低振動低騒音場所打ち杭として広範に応用された。この PIP 工法を支えたのはわが国の特許だった（特許出願公告、昭 37-17932）。Prepakt Concrete においては、フライ・アッシュを材料分離を減少するための混和材として用いている。種々の意味で Prepakt Concrete の先駆性は驚嘆すべきであったし、こういう技術を生むアメリカの底力には頭が下がった。

18) 品質管理上画期的な成果があげられた。

19) 戦後初めてわが国の技術が根幹的な面で世界の先頭を切ったという点で注目されるべきである。やや遅れて西ドイツでも別の高性能減水剤が開発された。あらゆる面で圧倒的だったアメリカを局部的ではあるが追い抜いた点で、現在世界をリードしつつある日独の将来を暗示していたように思われる。

20) 吹付け機械、急結剤ともにすべて外国からの技術導入で始まった。注 36) 参照。

21) フランスで発明された膨張剤が各方面で応用され花を開いたのはわが国においてであったと思われる。特に急結用および超高強度用として発展していった中でわが国独自の開発が多数なされている。このあたりを年表に入れるのは今回あきらめることとした。

22) 超高強度パイルの市販でわが国が世界の先頭を切ったことが注目されるべきである。

23) 冷遇されていたスラッグ微粉末が見直されてゆくマイルポストとして注目される。

24) スラブ軌道が初めて実用化され、セメント混和用の特殊アスファルト乳剤が開発された。

25) 塩化物対策が合理化されるきっかけとなった。

26) 高性能減水剤をわが国では超高強度用、西ドイツでは流動化コンクリート用として活用してきた。わが国でも現場施工の容易化を目的として流動化コンクリートが取り上げられるようになったのであり、水中不分離コンクリートやハイパフォーマンスコンクリートへの道が開けたものとして注目される。

27) レデー・ミクスト・コンクリートのような半製品を歯止めのない過当競争に追い込むことの恐ろしさを私たちは学習した。通産省委託による全国生コンクリートの工業組合連合会および協同組合連合会の「コンクリート強度の早期判定に関する研究」が成果をあげることに、および生コンクリート業界の過当競争を防ぐ方法を確立することが切望される次第である。

28) 注入モルタルの水中落下が極端な材料分離を生じることについて、大規模な現場試験の実施されたことが注目される。脱線するが、四国の活性化について次のような国土開発が行われていたら、土木界をみる世間の評価はどうだったろうか。明石海峡は沈埋トンネルで突破する（自動車はピギーバック方式で運ぶ）。鳴戸海峡は道路鉄道併用橋とする（鳴戸渦潮駅を鉄道橋の中に設ける）。高松および松山を中心として地元の要望を最大限に取り入れた大開発を実施する（橋梁予算程度の金額を見込む）。

29) 混合材の変遷をたどればきわめて興味深いと思われる。

30) 西ドイツで提唱されたものであるが、Prepakt

Concreteで示唆されていたことについては注16)参照。わが国にこの工法が導入されると、水中不分離コンクリートとして発展したことは周知のとおりである。アクリル系混和剤まで参入したが結局 Prepack Concrete で用いられていたセルローズ系の混和剤に落ち着きそうな見通しといってよい。なおこの保水剤ともいえる混和剤は建築で左官用として用いられていた。

最近、材料分離低減、特に遠心力コンクリート製品に対するスラッジ防止を目的としてアクリル系混和剤が応用されだしたことも注目される。

31) 長い間くすぶっていた塩化物による鉄筋のさびに関する問題が、細骨材の枯渇による海砂使用でクローズアップされたことはうなずける。しかしわが国では問題にならないと思われていたアルカリ骨材反応が急浮上したことは予想外だった。わが国の急成長ぶりが神のしがめを受けたのかもしれない。この問題はアメリカにおける長期の研究結果をみても一筋縄でいかない難問題であることは確かだった。しかし関係される方々のご努力につれて沈静化していったことはまことに喜ばしい。

32) 海砂およびアルカリ骨材反応を取り上げたこのNHKスペシャルは時宣にかかったものであった。建設省は総プロ、通産省はJIS改正で本格的に対応した結果適切に解決されていったことは周知のとおりである。なお'90.6.3の「つららは警鐘を鳴らす」というNHKスペシャルは酸性雨という巨悪を告発した意義は認められるが、ニュース性の欠如(たとえばセメント・コンクリートNo.217'65.3に詳しく報告されている)およびコンクリート構造物への影響が比較的に小さいこと(健康や植物への影響のほうがずっと大きい)等の点で、コンクリート界へのパンチ力は無視できるものだった。

33) 混和剤の塩化物脱却を象徴するものとして意義深い。

34) 一般的にいったポルトランド・セメントのアルカリ度は低下していった。

35) 炭素繊維が土木界で多用されるには至っていない。しかしながら、このエジソンの電球用フィラメントで登場した優れた繊維が、後発国であるわが国で大成していった過程は、若い方々にぜひ勉強して頂きたいものである(大谷杉郎：驚異の炭素、ダイヤモンド社)。

36) 当初外国技術導入の目立った青函トンネル関連の技術のうちで混和材料に関係した独自の技術開発を挙げれば、セメント薬液同時注入用グラウトに対する高炉スラグ微粉末の混和(ゲルタイムの延伸と耐海水性向上に著効があった)およびSEC吹付けコンクリート工法の開発(この場合はリバウンドやダストを減少できるため急結剤の使用量が減った)を挙げることができる。

37) 平成時代に入ってから年表は各自でつくって

頂きたいと思った。しかし、ちょっと調べてみた結果、種々の意味でハイパフォーマンスコンクリートだけを取り上げるのが適当と判断するに至った。コンクリートの歴史を誰がたどっても必ず取り上げられるべき大発明として、振動締固めを欠くことはできない——このことについて異論のある方は少ないと思う。この基幹の大発明を無用とする「締固め不要コンクリート」を提唱することは、ひたすら欧米に追従してきたわが国で、初めての本格的な挑戦ということもできよう。本論説を執筆するにあたっては、個人的に問い合わせることを原則として避けたが、例外としてハイパフォーマンスコンクリートにつき岡村 甫 東大教授にご教示を仰いだ。紙面を借りて深謝する次第である。

「締固め不要コンクリート」のルーツを探っておこう。水中コンクリートで振動締固めをすることは許されない。トレミーを用いたコンクリートはこの意味で締固め不要コンクリートの先駆だったといえる。この場合、単位セメント量を多くすること(370 kg以上)と、スランブをあまり大きくしないこと(18 cm以下)等によって材料分離を低減していた。建築用コンクリートにおいて締固め不要コンクリートが常用されていたことは周知のとおりである。しかしながら特別の考慮が払われていなかったため材料分離が著しく、スランブ21 cm(許容差±1.5 cm)まで至ってから反転した。西ドイツで高性能減水剤を流動化剤として用いた結果、スランブ20 cm級の信頼できるコンクリートが得られるようになった。このようなコンクリートを現場打ちのPC橋などで施工した結果判明したことは粘性が大きくて粗大空隙が混入されるため振動締固めを必要とすることであった。

注入用のグラウトは締固め不要という点で水中コンクリートに先んじていたともいえる。セメント注入でセメント粒子沈降を防ぐため超微粉末のペントナイトを混和することは古来の知恵であった。この方面の研究を推進しようとする方は水中グラウト施工技術研究会の先駆的研究成果をぜひ学習して頂きたい(セメント・コンクリートNo.300,'72.2その他)。材料分離の元凶である骨材(砂)を省くこと、3500~4000 cm²/gという高炉スラグ微粉末を活用していること、グラウトの噴出を防ぐためフレキシブル・ホースを注入管として用いていること等注目すべき先駆的知見が述べられている。現在ではスラグ粉碎・分級技術の発展に伴い6000~10000 cm²/gという高粉末度製品も生産されているから、増粘剤を多用する水中不分離コンクリートから粉体の粒度調整を主とするハイパフォーマンスコンクリートへの飛躍をめざす岡村教授の有力武器となるかもしれない。

(1990.11.15・受付)