

セメントといえば有機質，無機質を問わず物を接着するものの総称であるが，通常はポルトランドセメントを意味するほどになっている。このセメントを製造する設備は，30年間に約20 T/hr. から200～300 T/hr. と10倍以上の能力を持つ窯へと大型化し，同時にその品質は均質化されてきた。設備の大型化は逆に小廻りをきかして特殊セメントを製造するのに適していない状況となっている。このようなことから，最もポピュラーなポルトランドセメントをベースにして，混和剤などの使用や成型法，養生法を変えるなどして，必要とする性質を新たに作りだそうとすることが盛んに行われてきている。例えば，セメントの欠点といわれる引張り強さが低いということにはポリマーや繊維の使用，乾燥収縮によるひび割れの低減には膨張性混和剤や収縮低減剤などがある。

ここにセメント硬化体の性状を大きく改善した2つの例を紹介し，今後のセメントの物性改善の研究の参考にしていただければ幸いである。

1. 高張力セメント

セメント硬化体の圧縮強さは Powers ら¹⁾によると，セメント硬化体の全細孔容積中に占めるゲル細孔容積の比で示すことができた。その式によると，全細孔がゲル細孔のみで成りたっている理想的な場合に，最高の圧縮強さが得られることになり，その値は $3\,100\text{ kgf/cm}^2$ と推算される。減水剤を使用し，さらに圧縮成型などをして極力粗大細孔空隙を無くすことによって， $1\,000\text{ kgf/cm}^2$ を超える圧縮強さは得られるようになってきているが，まだセメントゲルの究極強さにせまる値は通常の方法では得られていない。

しかし，セメント硬化体の弱点の1つである曲げ強さあるいは引張り強さは，圧縮強さが高くなってきてもその割合ほど改善はされなかった。ポリマーセメントのように有機質結合材との複合，あるいは繊維質との組合せによって改善が計られてきた。

ガラスやセメント硬化体のような脆性固体の引張り強さは，材料中にある最も大きなキズによって決まるといって A.A. Griffith の理論²⁾に基づいて，J.D. Birchall, A.J. Howard と K. Kendall³⁾ (イギリス，ICI社) はセメント硬化体中のキズとは引張りあるいは曲げ試験時に応

高強度セメント

川田 尚 哉

資 料

力が集中する大きな気泡であり，これを少なくすることができれば高い曲げ強さを持つ硬化体を得られるものと考えた。大きなキズを無くしたセメント MDF セメント (Macro Defect Free Cement) を開発して特許⁴⁾を取った。この MDF セメントは曲げ強さ $400\sim 1\,500\text{ kgf/cm}^2$ ，引張り強さ $300\sim 1\,000\text{ kgf/cm}^2$ と従来のセメント硬化体の10倍以上の性能が得られ，ICI社では新しい無機質材料ということで NIMS (New Inorganic Materials) と呼んでいる。この NIMS の性能をうまく用いたデモ用の例として，コイル状スプリング⁵⁾

がある。これなどは通常のセメント硬化体では考えられないものである。

この NIMS の技術の要点は，セメント硬化体中の $15\ \mu\phi$ 以上の大きな気泡をできるだけ追いつくことにポイントがあり，そのために混練水比を25%，好ましくは7～15%と低くし，潤滑作用を与えるポリマーまたは分散作用を有する界面活性剤を使用する。これらの量はセメントに対し数パーセントから10数パーセントである。時にはセメント粉末の粒度も2つまたは3つの分布の山を持つものを使用する。このような配合であるから通常のミキサーでは混練できないので，せん断力の大きいプラスチックに用いられるロールミキサーなど，特殊なものが使用され，時には脱気しながら練る。骨材は1mm以下のけい砂のような硬質のものを，砂セメント比1以下で用いる。成型はプラスチックのように，押出し成型，あるいは 50 kgf/cm^2 の圧をかけて圧延しながら行う。混練物の硬さは，こねたパンの生地程度ということなので，流し込み成型では所期の目的を達し難いものと思われる。

ICI社が従来のセメントと異なる材料であるという点を強調して NIMS と名付けた意気込みからして，この新しい材料は既存コンクリート製品の延長ばかりでなく，もっと異なった新しい分野での用途を作るものと期待されている。

同時にわれわれとしては，既存のセメント硬化体の物性改良に，このマクロ欠陥をなくすという考え方が応用できるのではないだろうか。

2. 短期高耐力セメント

短期間に強さを発現させる最も手っ取り早い方法は熱

を使うことで、オートクレーブ養生や蒸気養生が用いられている。そしてこれら養生に適した混和剤や混和材が併用されて促進効果をさらに増進してきた。熱を使用しないで、すなわち標準養生で混練後 24 時間で、 1000 kgf/cm^2 の圧縮強さを発現させるような方法はまだ見出されていない。

SIKA 社 (スイス) の *Theodor A. Bürge*⁶⁾ は、標準養生 24 時間で 1000 kgf/cm^2 の圧縮強さを発現するコンクリートに挑戦した。その経過を追ってみよう。

ポルトランドセメントの主構成化合物は $3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ や $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$ といったカルシウムシリケートである。これらが水和するとコロイド状の微細なトバモライト状水和物と水酸化カルシウムが生成する。セメント硬化体の強さ発現に、前者は大いに貢献するけれども、後者は粗大結晶のためほとんど寄与しない。この関係を蒸気機関車に例えた人がいる。カルシウムシリケートという石炭は水和 (燃焼) してトバモライト状水和物という強さ (蒸気による動力) と水酸化カルシウムという燃えがらになる。フライアッシュなどのボゾラン物質は、この役たたずの燃えがらの水酸化カルシウムと反応して、トバモライト状水和物に、すなわち強さ発現のもとに変えてゆく。しかしこの反応は、常温の範囲ではかなりゆっくりで長期間が必要である。そこでうんと微細なフライアッシュと同質のものを求めると、フェロシリコン等製造時に副生するシリカフェームがある。これは $30 \text{ m}^2/\text{g}$ もの高い比表面積をもつ $0.2 \mu\text{m}$ 以下のシリカ質ガラスからなる超微粒子で、そのボゾラン活性は ASTM C 311 によるとフライアッシュの 4 倍に達する。

しかし、このような微粒子の混合と同時に、高強度を得るために W/C を $0.2 \sim 0.3$ と低くしたため作業性が

極度に悪くなってしまう。そこでメラミン型の高性能減水剤をセメントに対し 4% まで添加し、プラスチチーを改善した。

シリカフェームは外割、内割り共セメントに対し混入率 20% 付近で最大値を示した。

上述のような配合で、単位セメント量 351 kg 、天然骨材を用いたコンクリートは、標準養生 24 時間で 500 kgf/cm^2 、7 日で 1000 kgf/cm^2 以上の圧縮強さが得られた。

高性能減水剤を多量に使用したため、凝結が 15 時間以上と遅延してしまう。そこでアルカリを含まない促進剤——例えば無水硫酸アルミニウムなどをセメントに対し 3~6% 添加⁷⁾することにより、2~4 時間程度で強さ発現が始まり、24 時間で約 1000 kgf/cm^2 、材令 7 日で 1300 kgf/cm^2 を超える圧縮強さが得られた。

この新セメントの用途開発は、その他の諸物性を確認しつつ進められて行くであろう。

引用文献

- 1) T.C. Powers: Proceedings 4th International Symposium Chemistry of Cement, p. 577, (1960)
- 2) A.A. Griffith: Phil. Trans. R. Soc. A 221, p. 163, (1920)
- 3) J.D. Birchall, A.J. Howard and K. Kendall: Nature, No. 289, p. 388, (1981)
- 4) 日本特許, 公開番号: 52-53927, 53-134819, 54-126228, 56-14465, 58-176184.
- 5) J.D. Birchall, A.J. Howard and K. Kendall: Journal of Materials Science Letters, Vol. 1, p.1 25, (1982)
- 6) T.A. Bürge: Concrete International, Vol. 5, No. 9, p. 36, (1983)
- 7) 日本特許: 54-963361

筆者・Naoya KAWADA, 日本セメント中央研究所セメント研究部長
(〒135/東京都江東区清澄 1-2-23)

●ご案内●

土木学会論文集編集委員会論文集第VI小委員会

『土木学会論文集・第VI部門』の第2号は、昭和60年3月15日の発行です。論文等を投稿ご希望の方は、別掲の投稿要項等をごらんの上本年11月末日までにおよせ下さい。ただし、不詳点等は事務局編集課(電話: 03-355-3441 番, 内線 151 または 156) までご下聞願います。