

[220] 二酸化炭素ガス—真空脱水処理によるセメント製品の 硬化促進方法

正会員 ○田中 真人 (芝浦工業大学大学院)

正会員 十代田知三 (芝浦工業大学工学部)

横尾 和人 (芝浦工業大学大学院)

1. はじめに

セメント系製品の硬化促進方法には、蒸気養生・オートクレーブ養生等が多用されている。その他、高周波や放射線等を用いた特殊な方法も一部で研究されている。しかし、これらの方法は、いずれもエネルギー消費量が大い上、製造設備・施設等のコストがかさむ。このような中で、省エネルギーを主目的とした各種研究が、国の内外で行われてきた。特に欧米諸国では、廃ガスとして得られやすい二酸化炭素ガス（以下CO₂という）を用いた硬化促進方法¹⁾やこれに真空脱水処理を併用した方法²⁾等が鋭意研究されてきた。わが国では、CO₂を用いたセメント系製品の硬化促進方法の研究はあるものの実用化には至っていない。本研究は、主として省エネルギー・迅速硬化の観点から、CO₂と真空脱水を併用した処理によるセメント系製品製造の実用化を目的として、その可能性を実験的に探究するものである。

昨年度の実験³⁾は、セメントペーストを加圧成形した中100×7mmの供試体を用いて密閉容器で脱気・CO₂処理して点荷荷圧裂法⁴⁾で強度試験を行ったものである。この結果、最適水セメント比は10%で無処理のもの7日強度に匹敵する強度が得られた。

本年度は、対象をモルタルとして真空脱水処理を併用した方法について実験を行った。

2. 検討項目

水セメント比・連行空気量・処理時間・反応温度および速度・無処理との比較

3. 使用材料および実験機器

セメント：普通ポルトランドセメント（N社製）；細骨材：山砂（木更津産，表乾比重・2.43，粗粒率・2.84）；ガス：CO₂（濃度99.99%）；混和剤：AE剤（Vinsol）

型枠（密閉容器）：200×60mm（図-3）；真空ポンプ：排気速度55ℓ/min

4. 調合

W/C (%) : 30, 40, 50 目標空気量 (%) 2, 5, 10, 20 C/S : 1 (Wt.)

5. 実験方法

実験手順の概略を図-1に示す。

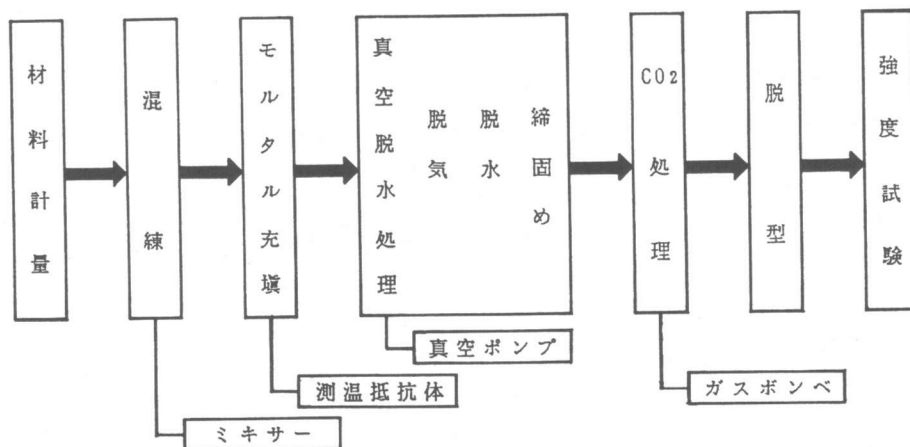


図-1 実験手順

・強度試験は、供試体（脱型寸法 $\phi 195 \times 20$ mm）が、比較的薄く、かつ厚さが不均一であるため、点載荷圧裂法〔注-1〕によった。

6. 結果および考察

6-1 モルタルの強度におよぼす影響因子

本実験の結果から、1:1モルタルを真空脱水5分間行った場合、 $W/C = 40\%$ 、連行空気量20%、 CO_2 処理60分という調査および処理時間が最も発熱し強度発現した。 CO_2 処理は、これらの各因子が互いに影響をおよぼしあい、強度発現に現れるものと考えられる。また、 CO_2 導入直前に行う真空脱水処理は硬化反応に多大な影響をもたらす。以下に水セメント比、連行空気量、真空脱水処理、処理時間を中心に述べていく。

1) 水セメント比〔図-5〕

一般に標準養生の場合、水セメント比が大きいほど強度は低下する。しかし、本処理方法の場合、最大強度はいずれの連行空気量、処理時間においても $W/C = 40\%$ がピークとなる結果を得た。昨年のセメントペーストを用いた場合でも $W/C = 10\%$ がピークとなる結果を得た。このことは、 CO_2 とセメントとが反応し強度発現に結びつくためには、限定された範囲での水分が必要であり、水セメント比の変動に対して敏感であることを示している。

2) 真空脱水処理

真空脱水処理は硬化の妨げとなる水分を取り除くだけでなく CO_2 のモルタル中への浸透（拡散）性を大いに助長する。このことは、真空脱水処理を行わない場合モルタルの硬化が全く見られなかったことから明らかである。

3) 空気量〔図-6〕

空気量の増加は空隙の増加による強度低下よりも、 CO_2 の浸透性向上による反応促進の方が支配的であることを示している。水セメント比を問わず、A E剤無添加のものは全く硬化が見られなかった。

また、連行空気量の総量だけでなく、空気泡の径や分布状態も重要な因子と思われる。

4) CO_2 処理時間〔図-7〕

CO_2 処理時間が長い程、強度は、増加し

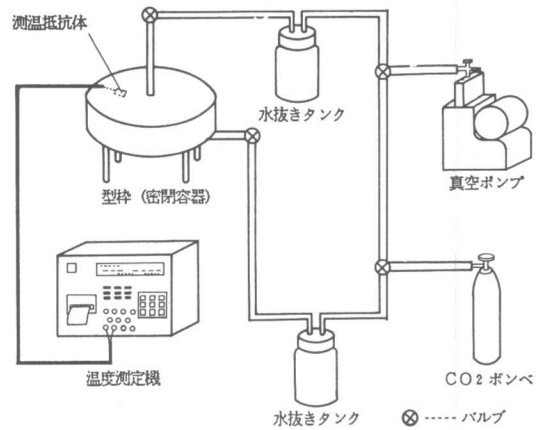


図-2 実験装置

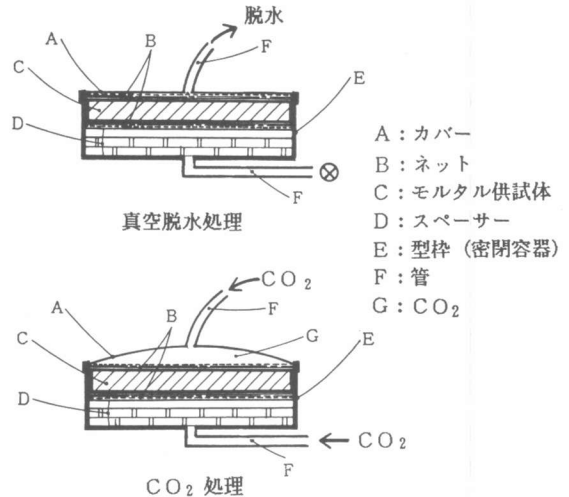


図-3 型枠断面図

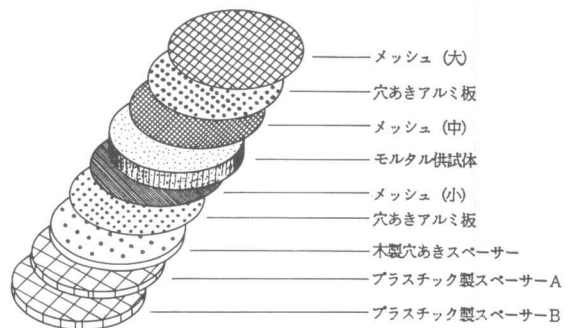


図-4 ネット詳細図

ている傾向にある。しかし、処理時間に比例して増加するわけではなく、CO₂ 処理初期に急激に強度発現し、その後は緩慢となる。このことは、迅速硬化をひとつの目的とする本処理方法の有効性を示す成果と言える。

5) 反応温度および速度〔図-8, 表-1〕

AE 剤を添加した場合、どの調合においても温度上昇が見られることからCO₂ による反応はある。そして、反応温度が高い程、強度が発現する傾向にあるが、明確な相関関係はみられない。このように、最高温度到達までの反応速度に関しても、明確な関係は認められなかった。しかし、いずれの調合においても処理初期に急激な温度上昇が見られた。

6-2 強度発現機構に関する推論

強度発現に到るまでの過程では、処理初期において主としてCO₂ とセメントが液相を通して反応し、発熱を伴いながら強度発現に結びつく。その発熱反応により高温となった液相中には、CO₂ が溶解しにくくなるため液相を通しての反応の進行が妨げられる。一方、その発熱反応により通常の水和反応が促進される。このように、強度発現の機構は、通常の大気中における炭酸化による強度増加とは異なった複雑な過程を経ていると推察される。

6-3 無処理との強度比較〔表-2〕

真空脱水+CO₂ 処理工程約65分後に得た最大強度は、無処理のものの7日強度にほぼ相当する。また、点載荷圧強度から圧縮強度を推定〔注-2〕した場合、本処理方法で最も強度発現したものは150 kgf/cm²以上の値を得ており、実用可能な強度であると思われる。

7. まとめ

本実験で得られたモルタルについての結果を以下に述べる。

- 1) 真空脱水+CO₂ 処理工程約65分で、無処理の場合の7日強度を得ることが認められ、硬化促進方法としての有効性が示された。
- 2) いずれの連行空気量、処理時間においても、W/C = 40%が最も高い強度を示した。
- 3) 連行空気量が増すほど促進効果は向上した。
- 4) 反応温度はCO₂ 処理初期に急激に上昇し、その後は緩慢となった。
- 5) 反応温度、速度は、強度発現と明確な相関関係は認められなかった。

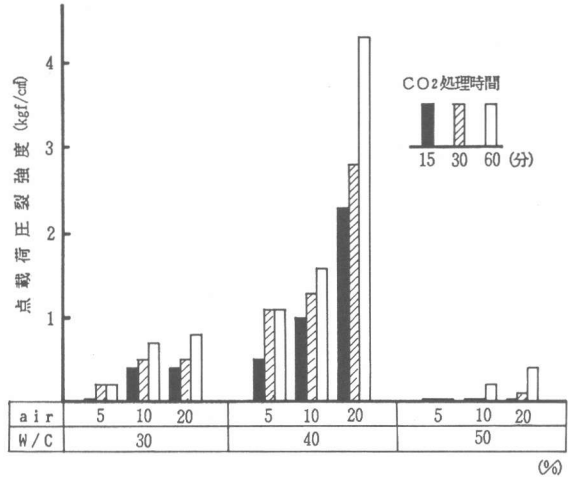


図-5 連行空気量・水セメント比・処理時間と強度

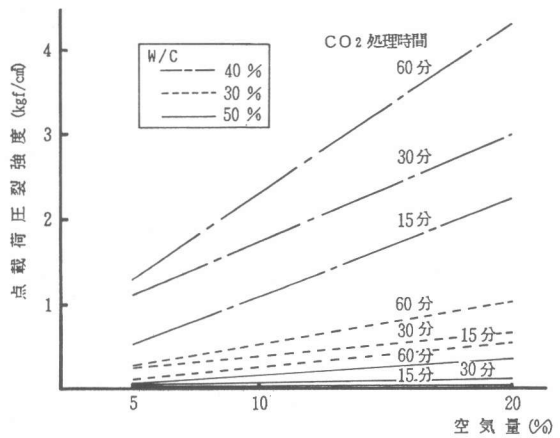


図-6 空気量と強度

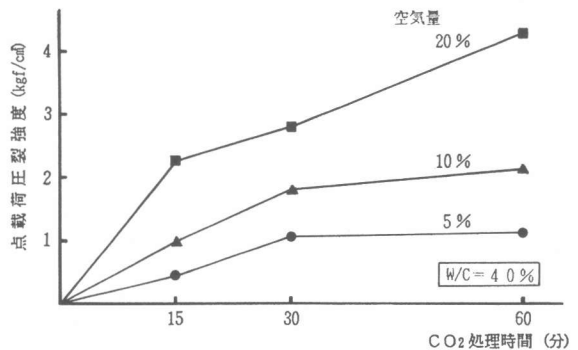
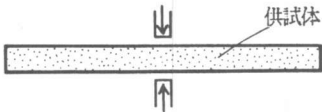


図-7 処理時間と強度

- 6) 真空脱水処理を行わないものは、CO₂ 処理を行っても促進硬化は全く見られなかった。
 7) 水セメント比を問わずAE剤を添加しないものは、硬化が全く見られなかった。
 8) 強度発現機構は、通常の大気中における炭酸化による強度増加とは異なった複雑な過程を経ていると推測される。

注-1：点載荷圧裂強度について



$$F = \frac{2P}{\pi DL} \quad (\text{kgf/cm}^2)$$

- F：点載荷圧裂強度 (kgf/cm²)
 P：荷重 (kg)
 D：供試体直径 (cm)
 L：供試体厚さ (cm)

注-2：点載荷圧裂強度と圧縮強度との関係
 本実験において強度の指標としている点載荷圧裂強度は、JIS・R5201における圧縮および曲げ強度のそれぞれ1/55, 1/4に相当する結果を得た。

謝辞

本研究にあたりご指導頂いたR.Malinowski博士、実験にご協力頂いた本学工学研究所・西田宏氏、卒研究生・木下秀平君に心から感謝致します。

参考文献

- 1) Berger, R.L., Clemm, W.A. : Accelerated curing of cementitious system by carbon dioxide, Part 1 & 2, Cement and Concrete Research, 2, Vol. 5, 1972.
- 2) Malinowski, R. Rohde, M. : Vacuum-carbonation of lightweight aggregate concrete, Nordic concrete research, 1983
- 3) 田中真人, 十代田知三: 二酸化炭素ガスによるセメント製品の硬化促進方法 (その1 基礎的検討) 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1985
- 4) 岡行俊ほか: 点載荷圧裂試験によるコンクリートの引張強度の決定, 材料, Vol. 18, No. 191, 1969.

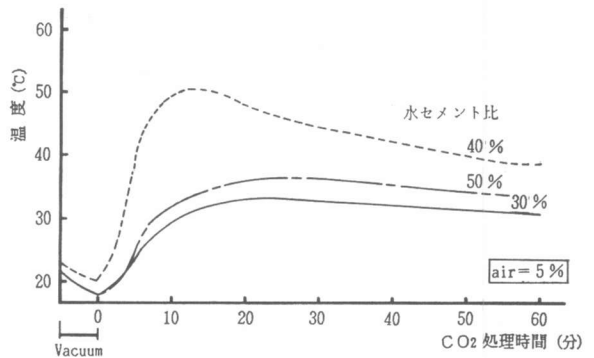
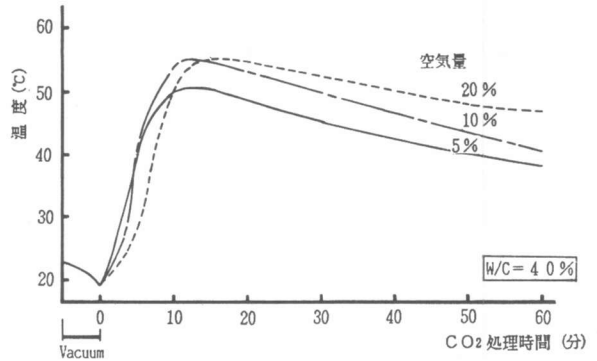


図-8 処理時間と温度変化

表-1 強度と最高温度

強度 (kgf/cm ²)	最高温度 (°C)	到達時間 (min)	割合 (w/c-air %)
4.3	55.4	17	40-20
2.1	54.9	13	40-10
1.1	50.5	12	40-5
0.8	37.7	17	30-20
0.7	36.4	20	30-10
0.4	42.0	15	50-20
0.2	33.4	24	30-5
0.2	37.4	21	50-10
0.0	36.6	26	50-5

表-2 無処理との比較

養生時間 (h)	養生方法	連行空気量 (%)	強度 (kgf/cm ²)
1	V+C	20	4.3
72 (3日)	N	2 (プレーン)	4.6
96 (4日)	V+N	20	4.3
168 (7日)	N	20	3.4

- V：真空脱水処理
 N：標準水中養生
 C：二酸化炭素ガス処理