

III-349 炭酸ガス添加によるセメント注入工法について

広島工業大学 正員 鈴木 健夫

1. まえがき

セメント注入工法は水ガラス注入工法に比較して、浸透性が低いのでその使用は限られているが、耐久性・高強度発現性、低公害性、および経済性などすぐれている面も多い。セメント注入工法の問題点はセメント懸濁液のための低浸透性であり、その浸透性を向上する目的で炭酸ガスの添加を行ってきた。 CO_2 の添加による注入性能の向上は定性的には認められるが、 CO_2 の性質から、その所在、反応など不鮮明な部分が見られた。そこで、 CO_2 の効果を確認するために、 CO_2 の土中への浸透状態や固結物のX線回折、熱分析および注入試験を実施した結果を報告する。

2. 試料

注入対象土は、2mmふるいを通過し、0.42mmふるいに留る均質な砂を使用した。砂の比重は2.63、3層10回の棒突法により締固めた透水係数は $1.4 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ であった。セメントは市販のポルトランドセメント、 CO_2 は市販のボンベ入りを使用した。

3. 実験方法および結果

a. CO_2 の砂層中への浸透

図-1に示される20Lの容器に飽和した砂をつめ、下部から CO_2 を吹込んだ場合の CO_2 の砂層中への浸透状況を水和による電解質の増加で把握し、電気抵抗の変化で測定した。 CO_2 を2気圧、5L/minで吹込んだ場合の結果は図-2のように電気抵抗は同じ断面では等しくなるので均質に浸透することがわかる。外周からの距離を変えて測点を配置した場合が図-3であり、飽和砂に対して前記と同様に CO_2 を吹込んだ場合、電気抵抗は図-4のようにいずれも低下し、 CO_2 が時間とともに増加してゆく傾向をしめしている。添加前の電気抵抗値との変化率を求めると、 CO_2 の濃度は容器との境は高いが、周辺部は低下し、また中心部になると高くなることがわかる。

b. X線回折 b-1 CO_2 による変化 セメントと水を混合し、 CO_2 を多量添加した供試体を分析し、発生した化合物の変化を測定した。この場合、A-5のみは $W/C=1.0$ であり、他は $W/C=6$ である。また、A-6, 7のみは $C/\text{砂}=4.0\%$ となるよう砂を混合した。データよりまとめた結果が表-1であり、 CO_2 の有無による相違らしいものがみられた。

b-2 CO_2 添加量の変化 CO_2 量をセメント重量の0.1、0.3および6%と変化させた場合、 CO_2 の量が増加するに従い 10.8° 付近の $\alpha\text{-}4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1.3\text{H}_2\text{O}$ (A) のピーク強さが大きくなる傾向がある。 CO_2 なしでは 11.6° 付近の $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 1.2\text{H}_2\text{O}$ (B) は認められなかったのに比べ、 CO_2 を添加するとしだいに大きくなる傾向が認められた。

b-3 CO_2 添加時の温度変化 セメント、水、および CO_2 の混合時の水温を5.0、17.5、25.0、および35.0℃と変

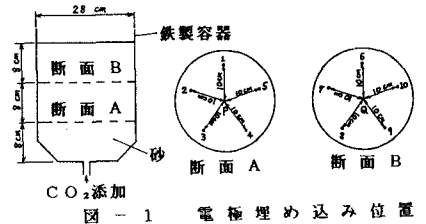


図-1 電極埋め込み位置

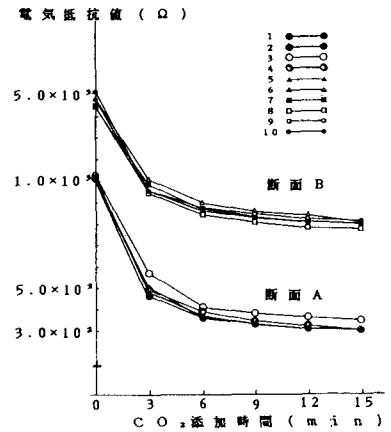
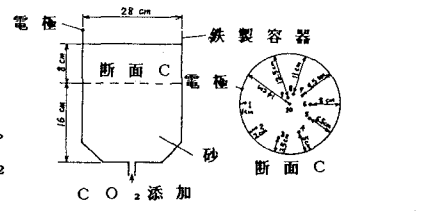
図-2 CO_2 添加時間と電気抵抗値との関係

図-3 電極埋め込み位置

化させ、それぞれの温度を1時間維持させた場合の供試体を分析すると、いずれもA、Bのピークは認められるが、35℃になるとA、B共に小さくなる傾向がある。この傾向として、高温になると水へのCO₂ガスの溶解度が小さくなって、反応量が小さくなることが考えられる。

c. 熱分析

供試体は注入により作成した。その作成条件を次に示す。（材令28日）CO₂添加量はセメント重量の3%である。

N _o 1 CO ₂ なし	3分間隔注入	N _o 4 CO ₂ ミキサー時添加	5分間隔注入
N _o 2 CO ₂ なし	5分間隔注入	N _o 5 CO ₂ ポンプ時添加	3分間隔注入
N _o 3 CO ₂ ミキサー時添加	3分間隔注入	N _o 6 CO ₂ ポンプ時添加	5分間隔注入

試料について、900℃までの示差熱分析と熱重量測定を行った。特別なピークはみられなかったが、熱重量測定における熱重量変化率と注入率は図-5のように比例関係がなりたつようである。熱重量変化率は重量の減少を始めた重量で除したものである。同じ間隔注入では、CO₂なしに比較して、CO₂添加はいずれも注入率が高く、N_o4を除いて熱重量変化率も高い。

d. 注入試験

CO₂添加方法をミキサー時とポンプ時の2通りで行い、配合は熱分析と同じで、試験した結果は図-6、7である。強度に関しては、CO₂の添加方法による差は少いが、透水性については、ミキサー時、すなわちCO₂の混合の充分な場合により成績を示した。間隔注入は3回繰返したが、5分間隔の方がよい成績を得た。

4. むすび

CO₂の浸透は非常に早く、ほぼ均等に土中に分布し、注入時間と共にその濃度は高くなる。機器分析は始めたばかりで判然としないう点が多いがX線回折によりCO₂の反応生成物が見出され、CO₂の添加量や温度なども注入効果に影響をあたえることが判明した。注入試験の結果、CO₂の添加により注入率が向上し、強度と透水性も向上している。CO₂の添加方法の相違では、ポンプ時よりもミキサー時のほうがよい値をしめした。おわりに臨み、本研究の試料分析をして頂いた昭和炭酸（株）、中国電力（株）、および（株）中研コンサルタントに深謝すると共に、実験に協力して頂いた本学卒業生末松幸人君および渡辺公一君に感謝します。

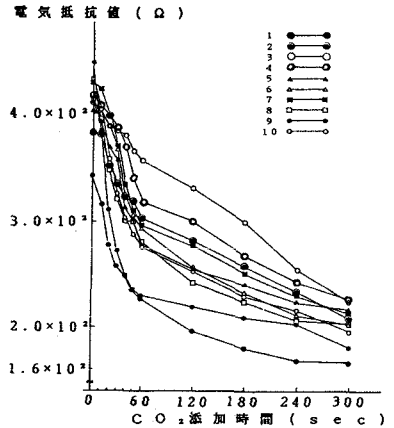


図-4 CO₂添加時間と電気抵抗値との関係

表-1 結果の要旨

試料	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
CO ₂ /C	0xwt	0xwt	15xwt	15xwt	15xwt	0xwt	15xwt
材令日数	7日	28日	7日	28日	7日	7日	7日
Ca(OH) ₂	○	○	○	○	○	○	○
ETTRINGITE	○	○	○	○	○	○	○
Tobermorite	△	△	△	△	△	△	△
CaCO ₃	△	△	△	△	△	△	△
3CaO·Al ₂ O ₃ ·Ca(OH) ₂	—	—	△	△	△	—	△
Ca ₂ Al ₂ (OH) ₂ ·3H ₂ O	—	—	△	△	△	—	△
Ca ₂ (Al ₂ SiO ₄)·H ₂ O	—	—	—	—	—	(△)	(△)
Ca ₂ Al ₂ (OH) ₂ ·H ₂ O	△	△	—	—	—	—	—
3CaO·SiO ₂ (44.7%)	○	○	○	○	○	○	○

注：(○) > (△) > (—)
ETTRINGITE = 6CaO·Al₂O₃·3SiO₂·31H₂O
Tobermorite = Ca₂(OH)₂·Si₂O₇·4H₂O

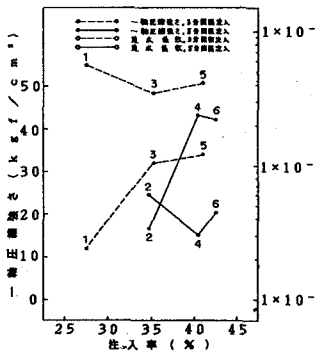


図-6 注入率、軸圧強度、透水性の相互関係（材令7日）

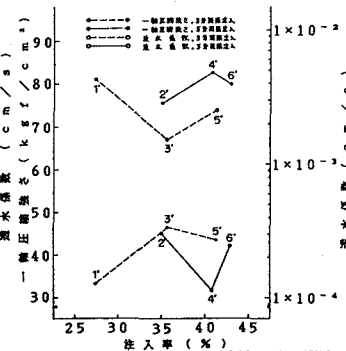


図-7 注入率、軸圧強度、透水性の相互関係（材令28日）

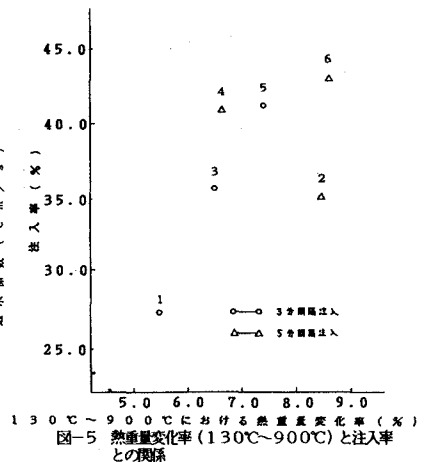


図-5 熱重量変化率（130℃～900℃）と注入率との関係