

1. ま え が き

セメントグラウト注入は他の薬液注入に比較し、取扱性、安全性、固結性および経済性においてすぐれているが、浸透性が非常に劣るのでグラウトタビリティを維持するために高水セメント比にせねばならず、その結果ゲルタイムの調節が困難となり、また固結土の強度および止水性は低下する。そこで、ソイルセメントにCO₂の添加が良い効果を示したのでそれを応用し、セメントグラウトにCO₂を添加し、CO₂の浸透性またはセメントグラウト中のCO₂の微泡によりグラウトタビリティを高め、さらにCO₂によるセメントの早期硬化性を期待して、セメントグラウトの適応性を拡大するために本研究を行なった。

2. 試 料

セメントは普通ポルトランドセメントを、CO₂は市販のガスボンベを使用した。土試料にはセメントグラウトの適用可能な図-1の川砂を使用した。

3. 試験方法

土試料を突き棒で2層25回づつ締め、水締めを行なった。浸透試験の場合は試料高さを70 cmにせ、3層55回、水締めした。試験方法は図-2の試験装置によりミキサーでよく混合したセメントグラウトをポンプで送り、それとY字管よりのCO₂を同時注入した。その時CO₂の圧力を変えると同時に、セメントグラウトの比重の変化も測定した。供試体は恒温室で24時間養生した後、一軸圧縮試験を実施した。浸透試験の場合は透明な円筒を用いて浸透限界高を測定した。セメントグラウトの注入後CO₂添加の場合は次の3通りの方法で実施した。

- 直ちにCO₂の注入時間を変えて注入した。
- 注入した供試体をおる時間恒温室に入れ、その後CO₂を注入した。
- 直ちに供試体にCO₂の圧力を変えて注入した。

CO₂注入後24時間恒温室で養生し、一軸圧縮試験を実施した。早期せん断試験はプロクターニードルを用い貫入試験により実施した。

4. 試験結果および考察

同時注入の場合は図-3であり、その圧縮強さはCO₂圧0.2から0.5 kg/cm²まで徐々に増加し、0.5 kg/cm²では無添加の場合の4.5倍にもなったが、0.6 kg/cm²以上になると急速に減少した。これは、0.5 kg/cm²まではCO₂の微泡の存在とともに炭酸塩の促進が行われ、0.6 kg/cm²以上になると径1 mm以上の大きな泡の存在がセメントの沈澱を抑制し、また空げきともなり劣化したとみられる。その際のセメントグラウトの比重は図-4のようにCO₂圧の増加とともに減少し、微泡の増加が0.6 kg/cm²になると飽和に達したことを示している。CO₂の存在による浸透性の変化は図-5であり、流量の少ない場合は0.6 kg/cm²が最大になったが、流量の多い場合は0.8 kg/cm²

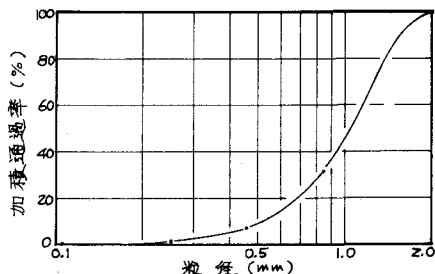


図-1. 土試料の粒径加積曲線

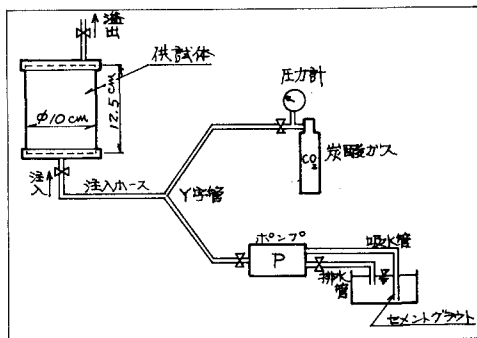


図-2. 注入試験装置概略図

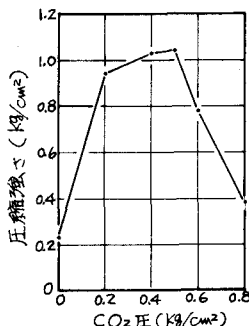


図-3. 同時注入の場合のCO₂の圧力による圧縮強さの変化
(セメントの注入条件: W/C=3.3, 注入3分間, 流量4.7 cm³/sec)

でもまだ増加した。一方、止水効果について試験した結果が表-1であり、微泡の存在によりやや止水効果の減少が認められた。セメントグラウトを注入後、CO₂を注入した場合が図-6であり、CO₂の注入時間とともに強さは加速度的に増加した。40分位注入すると無注入に比較し、強さは7倍に増加した。これはCO₂の内部通過により脱水、乾燥が行われ、炭酸、水和作用が促進されたとみられる。セメントグラウトの注入直後CO₂を注入すると、供試体中のセメントグラウトが流動し、土粒子との付着が弱くなると考えられたので、時間を置いてCO₂を注入した結果が図-7である。図より初期を除いて75分までは直線的に強さが増加し、それ以後は逆に減少している。75分までの強度増加はセメントの凝結、

グリーンング作用による分離した水をCO₂が通り抜け、水を追い出したとみられる。試験では供試体内部から透明な水が約100g排水された。これは620g注入したセメントグラウトの16%に相当した。75分以後はセメントの凝結作用によりCO₂の注入が徐々に困難になり、同じ流量を維持するために注入直後では0.25、75分後では0.5、120分後では0.7 kg/cm²の圧力が必要になったこととわかるようにCO₂の均質な反応が困難になったとみられる。地盤を対象にするとCO₂の高い圧力が必要になるので、圧力変化による影響を試験したのが図-8

であり、圧力の増加に伴い強さは増加するが、増加の傾向は注入時間、経過時間に比較して少なく、0.95 kg/cm²の圧力では無注入の場合の4倍に増加した。早期検定にてCO₂の注入効果を検討するために少量のCO₂を注入した場合の比較が図-9であり、無注入の場合6時間までは緩やかな強度の増加に比し、CO₂の注入により急速な強度増加がみられた。次にW/C=1.43のセメントグラウトを注入後、CO₂を0.5 l/min、20分間注入した場合の止水効果を測定すると表-2であり、CO₂の注入により止水効果は少し低下し、また、75分後では低下量がより少なくなった。

5. む す び

セメントグラウト注入の際にCO₂を添加する場合、同時注入と別々注入にわけて試験した結果、それぞれに効果の差はあるが、浸透性、早強性に著しい効果を示し、止水効果の低下も少ないことがみられた。

終りにのぞみ、本研究に協力して載った本学卒業生の小田康夫君および谷口浩二君に謝辞致します。

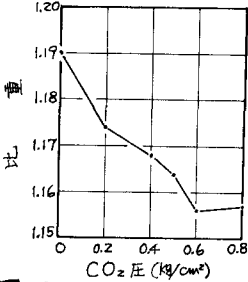


図-4. 同時注入の場合のCO₂圧とセメントグラウトの比重の関係

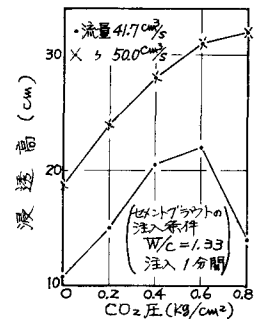


図-5. CO₂の圧力変化による浸透性への影響

表-1. 透水係数の比較

	突き固めた土 試料	セメントミルクのみ注入	同時注入 0.5 kg/cm ² CO ₂
k_e (cm/sec)	3.04×10^{-1}	6.26×10^{-3}	1.01×10^{-2}

セメントグラウト注入条件; W/C=3.3, 注入3分間, 流量 41.7 cm³/sec

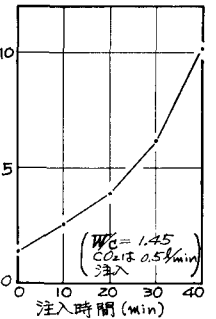


図-6. セメントグラウトを注入後CO₂を注入した場合の注入時間と圧縮強さの関係

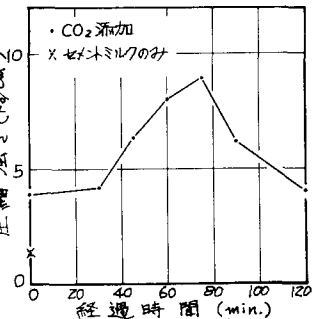


図-7. セメントグラウト注入後に経過時間においてCO₂を0.5 l/minにて20分間注入した場合の圧縮強さ

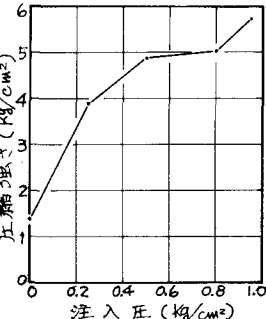


図-8. セメントグラウト注入後にCO₂の圧力を変えて20分間注入した場合の圧縮強さ

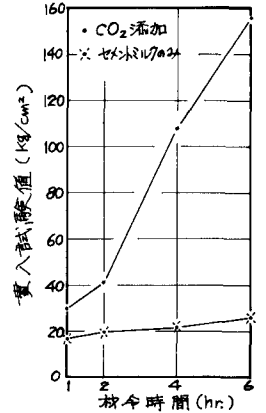


図-9. 早期検定におけるCO₂の有無による貫入試験値の比較 (CO₂注入は0.5 l/minにて10分間)

表-2. 透水係数の比較

	突き固めた土 試料	セメントミルクのみ注入	注入直後 CO ₂ 注入	注入後75分 経過CO ₂ 注入
k_e (cm/sec)	3.04×10^{-1}	4.16×10^{-3}	1.08×10^{-3}	7.11×10^{-4}

CO₂は流量 0.5 l/min. にて 20 分間注入