

炭酸ナトリウムの混合によるセメントベントナイト系空洞充填材の高度化

ベントナイト 炭酸ナトリウム ブリージング

| | | |
|------------|------|-------|
| 明石工業高等専門学校 | 学生会員 | ○橋本 功 |
| 明石工業高等専門学校 | 学生会員 | 嶋谷宗太 |
| (株)マルシン | 正会員 | 桑原秀一 |
| (有)日本マテリアル | 非会員 | 内田幸生 |
| (有)日本マテリアル | 非会員 | 近藤武司 |
| 芝浦工業大学 | 国際会員 | 稲積真哉 |

1. はじめに

近年、我が国では高度経済成長期に大量に建設された建築物の老朽化が問題となっており、建替え需要が高まっている。構造物取壊し工において既存杭を撤去する際、一般に引抜き工法が採用されるが、杭引抜き後の地盤内に形成される引抜き孔を放置しておく周辺地盤の沈下、軟弱化といった問題を引き起こす可能性があり、充填材を注入することで早急に地盤を安定化させる必要がある。炭酸ナトリウム (Na_2CO_3) はセメントベントナイト系空洞充填材に混合することで強度発現早期化およびブリージング抑制効果を発揮すると期待されている。本研究では、セメントベントナイト及び炭酸ナトリウム混合セメントベントナイトに対し室内配合試験を行うことで、強度特性および材料分離の面で比較を行い、炭酸ナトリウムを混合することによるセメントベントナイト系空洞充填材の高度化及び充填材としての有用性について検討する。

2. 配合条件

表-3に一連の試験で用いる供試体の配合条件を示す。配合条件は目標強度を $0.5\text{N}/\text{mm}^2$ として設定している。「公共建築工事標準仕様書(建築工事編)」¹⁾における、セメントミルク注入工法の杭周固定液の4週圧縮強度 $0.5\text{N}/\text{mm}^2$ が地盤と同強度とみなされていることから、一般に標準配合として採用されている値である。配合A, Bではセメント(C)とベントナイト(B)の重量比C/B=5, 6のセメントベントナイトと炭酸ナトリウム混合セメントベントナイトを作成し、炭酸ナトリウムの混合によるセメントベントナイトの諸特性の変化を検討する。配合C, D, E, F, Gではセメント(C)量のみを変化させて炭酸ナトリウムとセメントの相互関係について検討する。混合手順は、回転数 $1500\text{rpm}/\text{min}$ の攪拌機に水(W)とベントナイト(B)を加えて3分間攪拌した後、普通ポルトランドセメント(C)を投入して3分間攪拌、更に炭酸ナトリウム(S)を投入して3分間攪拌を行う。

3. 試験方法

① 一軸圧縮試験

日本工業規格(JIS A 1216)「一軸圧縮試験」に準じて試験を行う。配合条件に従って各試料を混合し、直径 50mm 、高さ 100mm のモールドに流し込んで供試体を作成する。 20°C の恒温室で7, 14, 28, 60, 90, 120日間養生を行い、各養生日数において一軸圧縮試験を実施する。炭酸ナトリウム混合セメントベントナイトの強度発現について検討を行う。

② 貫入試験

簡易測定器を用いて、配合A, Bの条件で作成した供試体に対して貫入試験を行う。試料混合直後から30分, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 24時間における貫入抵抗値を計測する。炭酸ナトリウム混合セメントベントナイトについて、試料の混合、攪拌から24時間後までの超早期強度発現性を検討する。

③ ブリージング試験

土木学会規準(JSCE-F 522)「プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリージング率および膨張率試験方法(ポリエチレン袋方法)」に準じて試験を行う。直径 50mm のポリエチレン袋に 200mm の高さまで各試料を混合、攪拌した充填材を入れ、1, 3, 24時間後のブリージング水量を測定し、以下の式を用いてブリージング率を求める。

$$\text{Br} = \left(\frac{Wb}{V} \right) \times 100$$

ここで、Br (%) はブリージング率、Wb (ml) は各経過時間におけるブリージング水量、V (ml) は試料全体の体積を示す。炭酸ナトリウム混合セメントベントナイトについて、水とセメントの材料分離性を検討する。

④ 流動性試験

土木学会基準(JSCE-F 521)「プレパックドコンクリートの注入モルタルの流動性試験方法(P漏斗による方法)」に準じて試験を行う。流出管内径 13mm 、流出管長さ 38mm 、漏斗部高さ 192mm のP漏斗試験機に各材料を混合、攪拌した充填材を満たし、流出管から指を離して充填材を流化させ、充填材の流れが初めて途切れるまでの流下時間をストップウォッチで計測する。

表-1 ベントナイトの化学成分

| 化学成分 | SiO_2 | Al_2O_3 | Fe_2O_3 | MgO | CaO | Na_2O | K ₂ O | 強熱減量 |
|--------|----------------|-------------------------|-------------------------|-----|-----|-----------------------|------------------|------|
| 含有率(%) | 67.1 | 16.8 | 3.7 | 3.3 | 2.7 | 2.2 | 1.3 | 2.9 |

表-2 混和剤の化学成分

| 化学成分 | Na_2CO_3 | NaCl | Fe_2O_3 | 水不溶分 | 強熱減量 |
|--------|--------------------------|------|-------------------------|---------|------|
| 含有率(%) | 99.41 | 0.35 | 0.0003以下 | 0.001以下 | 0.15 |

表-1 配合条件

| 配合No. | B (kg/m^3) | C (kg/m^3) | S (kg/m^3) | W (kg/m^3) | W/C (%) |
|-------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------|
| A-1 | 50 | 240 | 0 | 905 | 377 |
| A-2 | 50 | 240 | 20 | 897 | 374 |
| B-1 | 50 | 300 | 0 | 886 | 295 |
| B-2 | 50 | 300 | 20 | 878 | 293 |
| C | 50 | 180 | 20 | 916 | 509 |
| D | 50 | 200 | 20 | 910 | 455 |
| E | 50 | 220 | 20 | 903 | 410 |
| F | 50 | 250 | 20 | 894 | 358 |
| G | 50 | 260 | 20 | 891 | 343 |

Improved Effect of Cement Bentonite Typed Filling by Mixing Sodium Carbonate

Ko Hashimoto¹, Souta Shimatani¹, Shuichi Kuwahara², Kousei Uchida³, Takeshi Kondo³ and Shinya Inazumi⁴¹National Institute of Technology, ²Akashi College, ³Marushin Co., Ltd., ⁴Shibaura Institute of Technology)

4. 試験結果および考察

図-1 一軸圧縮試験結果において、A-1 と A-2, B-1 と B-2 の材齢 7 日強度の比較から炭酸ナトリウムの混合によりセメントベントナイトの初期強度が増加する。また、長期強度の比較よりいずれの材齢においても炭酸ナトリウム混合時の方が強度は大きい。図-2 は材齢 28 日強度で正規化した値（以下、圧縮強度比とする）でまとめた結果であり、各配合の材齢 28 日以降の長期強度発現挙動に大きな違いは見られず、B-1 を除いて圧縮強度比は 1.0 付近の値である。炭酸ナトリウムの混合による長期強度発現への影響は見られないことから、初期強度の増大分が長期強度増大分となっているといえる。図-3 貫入試験結果より A-1, B-1 では試料の混合から約 8 時間後から抵抗値が上昇しているが、A-2, B-2 では約 1 時間後から抵抗値が上昇している。凝結開始が早期化していることから、炭酸ナトリウムの混合は材齢 1 日レベルの強度発現に影響しているといえる。C, D, E, F, G では、図-1 よりセメント量が多く水セメント比の小さい順に各材齢における強度が高くなる傾向がある。また、図-2 より C を除いてはいずれの配合においても強度発現の傾向に大きな違いは無い。セメント量の違いによる初期・長期強度発現挙動に違いがないことから、炭酸ナトリウムの混合によるセメントベントナイトの初期強度増加は、セメントと水の水和反応を促進しているのではなく、セメント水和物とは異なる硬化体を形成していると考えられる。ここで、炭酸ナトリウムとベントナイトに着目する。ベントナイトはモンモリロナイトの層間陽イオンの種類によって性質が異なり、他種類の陽イオンとイオン交換をすることによって性質を変化する²⁾。炭酸ナトリウム (Na_2CO_3) は水に溶解すると 2Na^+ と CO_3^{2-} に電離するため、 Na^+ と層間陽イオンの Ca^{2+} がイオン交換を行い Ca^{2+} と CO_3^{2-} が結合することで炭酸カルシウム (CaCO_3) が生成される。炭酸カルシウムは分子同士が結びつき硬化体を形成するため、早期強度発現および長期強度の増加効果を発揮したといえる。

表-4 プリージング試験結果より、A-1, B-1 では時間の経過と共にプリージング率が大きくなるのに対し、A-2, B-2 ではほとんどプリージングを起していない。C, D, E, F, G においても同様の傾向が確認でき、炭酸ナトリウムの混合によってプリージングが抑制されている。ベントナイトはモンモリロナイトの層間陽イオンが水分子を吸着することによって膨潤性を発揮しており、Ca 型ベントナイトと比較して Na 型ベントナイトの方が膨潤しやすいという性質を持つ³⁾。炭酸ナトリウムが水に溶解することで前述のイオン交換が行われ、層間陽イオンに Na^+ が多くなるためベントナイトの膨潤性が増加したと考えられる。加えて、炭酸カルシウムが生成されることよって早急に硬化体が形成され、セメントベントナイト中の水分子の移動が阻害される。よって、炭酸ナトリウムの混合によるベントナイトの膨潤性増加および炭酸カルシウムの生成という複数の現象が関係して、プリージングが抑制されたと考えられる。

5. おわりに

本研究では、セメントベントナイトに炭酸ナトリウムを混合した空洞充填材について、強度特性および材料分離の観点から有用性を検討した。炭酸ナトリウムを混合することでセメントベントナイトは早期強度発現効果を発揮し、早急なゲル化は地盤内において地下水の充填材への侵入を防ぐため充填材が安定して所定の強度を発揮することが可能となる。また、プリージングを起さないため材料は均質に充填され、強度の偏りが生じにくくなる。以上のように、炭酸ナトリウムをセメントベントナイトに混合することによって空洞充填材として有用な効果が発揮された。今後は、物理化学的観点から諸特性発現のメカニズムを検証する必要がある。

【参考文献】

- 1) 国土交通省：公共建築工事標準仕様書（建築工事編）平成 25 年版，国土交通省，2014。
- 2) 八島隆志：粉末 X 線回帰法によるスメクタイト交換性陽イオンの推定，全地連技術フォーラム 2011 講演集，No.40，2011。
- 3) 鬼形正伸：ベントナイトの特性とその応用，粘土科学第 46 巻，第 2 号，pp.131-138，2007。

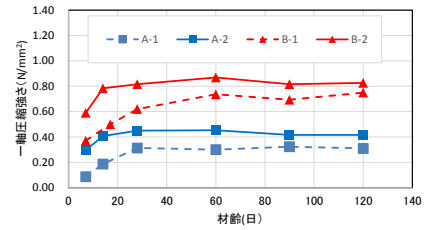


図-1 一軸圧縮試験結果

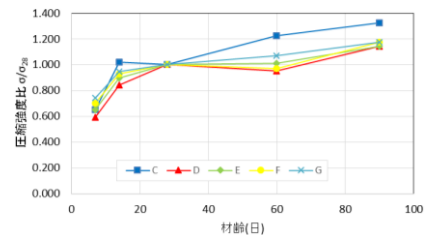
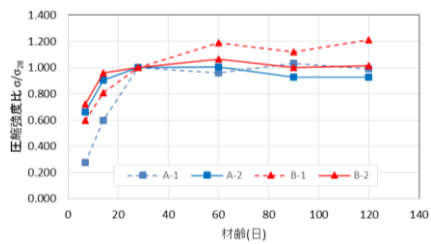
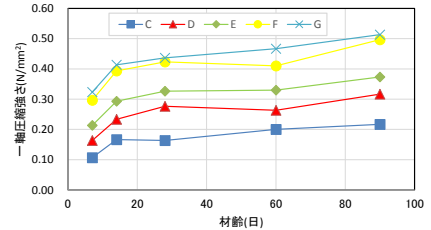


図-2 圧縮強度比

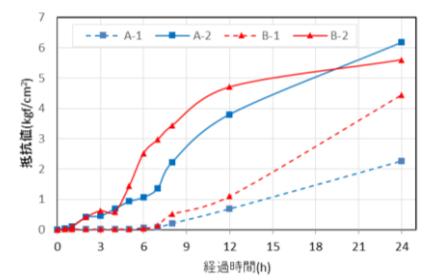


図-3 貫入試験結果

表-4 流動性・プリージング試験結果

| 配合 No. | フロー値 (秒) | プリージング率 (%) | | |
|--------|----------|-------------|------|-------|
| | | 1時間後 | 3時間後 | 24時間後 |
| A-1 | 7.7 | 3.6 | 9.3 | 9.5 |
| A-2 | 7.6 | 0.5 | 0.0 | 0.0 |
| B-1 | 7.8 | 4.0 | 9.5 | 9.8 |
| B-2 | 7.6 | 0.4 | 0.0 | 0.0 |
| C | 7.7 | 0.9 | 0.8 | 0.0 |
| D | 7.7 | 0.7 | 0.5 | 0.0 |
| E | 7.7 | 0.5 | 0.0 | 0.0 |
| F | 7.7 | 0.5 | 0.0 | 0.0 |
| G | 7.7 | 0.5 | 0.0 | 0.0 |