

炭酸ナトリウムの混合によるセメントベントナイト系充填材の高度化特性に関する考察

桑原秀一¹・稲積真哉²・○橋本 功³・江口忠臣³

¹マルシン・²芝浦工業大学・³明石工業高等専門学校

1. はじめに

1.1 背景

既設構造物が存在する土地において新たな土地活用を図る場合、新設構造物の杭基礎などに干渉しないよう既存杭を撤去しなければならない。また、地中に残存した既存杭は産業廃棄物として扱われるため、土地売却取引などにおいては瑕疵としてしばしばトラブルの原因となる¹⁾。従って、既存杭を地盤内から確実に撤去することが必要である。

既存杭の撤去には一般的に引抜き工法が採用されるが、既存杭の引抜き後には地盤内に引抜き孔が形成され、放置しておく周辺地盤の崩壊や沈下、軟弱化といった問題を引き起こす可能性がある。また、不均一な充填材注入によって、埋め戻し箇所周囲の地盤が緩み新設杭の周面抵抗が發揮できない場合や、新設杭が傾斜や偏心を起こして再施工に至る可能性もある²⁾。これらの問題を防ぐため、引抜き孔全体にわたって確実に充填材を注入し、早急に地盤を安定化させる必要がある。現場によって地盤環境が異なるため充填材に求められる強度や性質は異なるが、当該充填材に関する規定・基準は存在しない現状にある。そのため、充填材は周辺地盤の強度などから設定された設計値より大きな値であれば安全であるというように十分に精査されていない状況である。建築物や道路構造物の老朽化が進んでおり構造物の解体、建替え需要が増加している現状³⁾、確実な既存杭の撤去技術および抜き跡地盤の安定化技術の構築が求められている。

1.2 充填材による既存杭引抜き孔の埋め戻し

本研究における充填材は既存杭引抜き工法の一つである杭先端チャッキング工法⁴⁾に用いることを前提としている。杭先端チャッキング工法では、地盤内に存在する既存杭の外周をケーシングにより削孔し既存杭の先端部にケーシングが到達すると、既存杭を先端から抱え込むようにチャック爪を突き出しケーシング内に既存杭を内包したまま引き上げる施工手順をとる(図-1参照)。この工法では充填材注入においてケーシングの先端から充填材を吐出可能であり、引抜き作業と同時に引抜き孔への充填が行える。引抜き孔最深部からの充填材注入となるため、引抜き孔全長にわたって均一な充填が可能である。施工上の問題が大幅に軽減される工法であるが、充填材のブリージング発生による不均一な埋め戻しや、充填材の強度発現に時間を要することなど、材料の性質に由来する問題点が存在する。

1.3 既往の充填材および充填材に要求される性質

地盤内の空洞に対する充填材は大きく分けて、土砂、流動化処理土、貧配合セメントミルクの3種類を挙げることができる。土砂は、施工が容易且つ安価である点が利点として挙げられる。しかし、充填しながら転圧作業を行うことが不可能であることから均一な充填が難しく、安定した強度を確保できない⁵⁾。流動化処理土とは土砂、水、セメント系固化材を配合して得られる充填材である。作業性が高く施工が容易であり、機械による転圧を要さず安定した強度を發揮する利点がある。しかし、外部からの搬入となるため現場の施工状況に合わせての打込みが難しい⁶⁾。貧配合セメントミルクは、水、セメント、ベントナイトを混合した充填材である。水とセメントの材料分離により深度方向によって強度が不均一になる、地下水による希釈で所定の値よりも強度が低下するなどの可能性がある。しかし、水、セメントの配合管理によって強度調整などの品質管理が容易であり、汎用のプラント設備にて混練作業ができるため、現場の施工状況に合わせて適時作

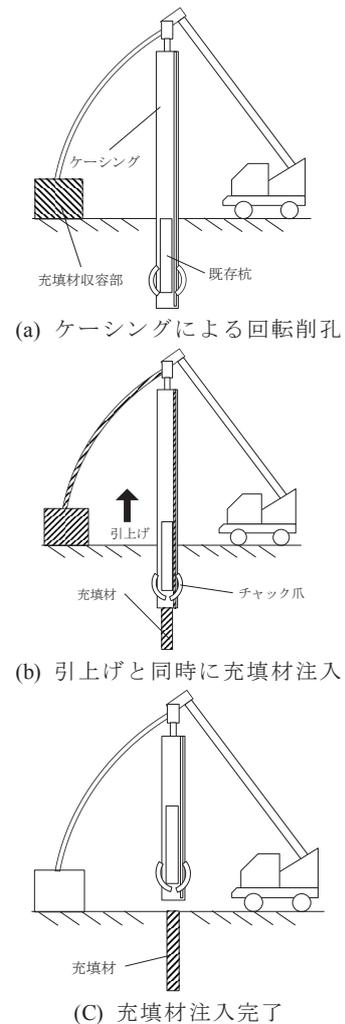


図-1 杭先端チャッキング工法

Advanced characteristics of cement bentonite fillers by mixing sodium carbonate
Shuichi Kuwahara¹, Shinya Inazumi², Ko Hashimoto³, Tadaomi Eguchi³

(¹Marushin Co., Ltd, ²Shibaura Institute of Technology, ³National Institute of Technology, Akashi College)

製することが可能である⁵⁾。

1.4 目的

既存杭等の抜き跡を埋め戻すことで対象地盤の復元性を高め、地盤を早急に安定化させる充填材の開発を目的とする。本研究では現場において容易に配合調整が可能であり、多くの地盤に対応可能であるセメントベントナイト系充填材に着目する。一般に用いられているセメントベントナイト系充填材では空洞への充填後に、水が表面に移動する材料分離現象であるブリージングが生じ、深さによる強度のばらつきを引き起こす⁷⁾。そのため、炭酸ナトリウム (Na_2CO_3) の配合はベントナイトのブリージング抑制性能とセメントの早期ゲル化の双方に効果を発揮すると期待される。本研究では Na_2CO_3 を配合したセメントベントナイト系充填材の諸特性を、室内配合試験を実施することで物理的、化学的観点から検討する。また、 Na_2CO_3 を配合したセメントベントナイト系充填材の諸特性の発現メカニズムについて考察する。

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-1	50	220	20	903	410
C-2	50	250	20	894	358
C-3	50	280	20	884	316
D-1	20	220	20	915	416
D-2	20	250	20	905	362
D-3	20	280	20	896	320
E-1	50	240	0	905	377
E-2	50	220	20	903	410
E-3	20	240	20	908	378

2 試験方法

2.1 使用材料 (構成材)

本研究で作成する充填材の構成材料は水、普通ポルトランドセメント、ベントナイト、炭酸ナトリウム (Na_2CO_3) である。ベントナイトについては、A.C.C.法 (American Colloid Company 規格) における膨潤度 4 の低膨潤ベントナイト『白馬』と膨潤度 20 の高膨潤ベントナイト『スーパークレイ』の二種類を用いる。

セメントは水との水和反応から強度を発現するため、セメントベントナイト系充填材において硬化性能を発揮する主成分である。ベントナイトは水中において膨潤性を発揮するため、水をベントナイト中に取り込むことでセメントと水の材料分離を抑制する効果、および増粘性により充填材を空洞内に偏りなく行き届かせる自己充填性増加の効果を有する⁸⁾。 Na_2CO_3 はセメントと水の初期水和反応を促進することによる早期強度発現効果、および交換性陽イオンとして Na イオンが少ないベントナイトの膨潤性および分散性を増加させることにより粒子の沈降を抑制し、ブリージング抑制効果を発揮する添加剤として期待される⁹⁾。

2.2 配合条件

表-1 は本研究における一連の試験で用いるセメントベントナイト系充填材の供試体について、各構成材の配合条件を示したものであり、目標強度を $0.3\text{--}0.5\text{ N/mm}^2$ として設定している。これは「公共建築工事標準仕様書 (建築工事編)」¹⁰⁾ において規定されている既製杭打設工法であ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 N/mm^2 が地盤と同程度の強度である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。本研究では、充填材の重量に対し、50%以上 90%以下の水 (W)、1%以上 10%以下のベントナイト (B)、10%以上 40%以下のセメント (C)、0.5%以上 3%以下の炭酸ナトリウム (Na_2CO_3) (S) を混合する。混合順序は、攪拌機に水とベントナイトを加えて回転数 1500 rpm で 3 分間攪拌した後、普通ポルトランドセメントを投入して 3 分間攪拌、 Na_2CO_3 を投入して 3 分間攪拌を行う。配合 A、B ではセメントとベントナイトの重量比 C/B = 5、6 で供試体を作成し、 Na_2CO_3 の有無によるセメントベントナイト系充填材の諸特性の比較を行う。配合 C、D では膨潤度の異なるベントナイトを利用して各々の比較を行う。配合 E では Na_2CO_3 の有無およびベントナイト膨潤度の違いによる生成物の比較を材齢毎に行う。

2.3 試験方法

(1) 一軸圧縮試験および簡易貫入試験

Na_2CO_3 を配合したセメントベントナイト系充填材の強度発現については、日本工業規格 (JIS A 1216) 「土の一軸圧縮試験方法」によって検討する。配合条件に従って各構成材を混合攪拌し、直径 50 mm、高さ 100 mm のモールドに流し込んで供試体を作製する。打設翌日に脱型し、20°C の恒温室で所定の日数封緘養生を行い、各養生日数において一軸圧縮試験を実施する。また、各構成材の混合攪拌直後から 24 時間後までのセメントベントナイト系充填材のゲル化作用について、 Na_2CO_3 を配合することによる変化を評価するため、配合 A、B の条件で作製した供試体に対して簡易的な貫入試験を実施する。各構成材の混合攪拌後、パット上に試料を広げ、混合直後、30 分、1、2、3、4、5、6、7、8、12、24 時間における貫入抵抗値について簡易測定器 (IMADA 社製 DPRSX-5T) を用いて計測する。測定器を手で持って計測軸を試料に押し当てることで貫入抵抗値を得る。貫入抵抗値の経時変化を記録することで、 Na_2CO_3 がセメントベントナイトのゲル化に及ぼす影響を考察する。

(2) ブリージング試験

セメントベントナイト系充填材および Na_2CO_3 を配合したセメントベントナイト系充填材について、水とセメントの材

料分離の有無を評価する。そこで、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)」に準じて試験を実施する。直径 50 mm のポリエチレン袋に 200 mm の高さまで各構成材を混合攪拌した充填材を投入し、1, 3, 24 時間後のブリージング水量を測定し、式(1)によりブリージング率を求める。

$$Br = (Wb/V) \times 100 \quad (1)$$

ここで、Br : ブリージング率 (%), Wb : ブリージング水量 (mL), V : 試料全体の体積 (mL) である。

(3) 流動性試験

セメントベントナイト系充填材および Na_2CO_3 を配合したセメントベントナイト系充填材の流動性は、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)」により評価する。流出管内径 13 mm, 流出管長 38 mm, 漏斗部高さ 192 mm の P 漏斗試験器に各構成材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下させ、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。

(4) XRD 分析 (X 線回折分析)

XRD 分析は X 線の回折現象を解析し、試料の構成成分の同定、結晶内部での原子の配列を決定する¹¹⁾。よって、 Na_2CO_3 を配合することによるセメントベントナイト系充填材の反応および生成物質の変化を調べる。本試験では株式会社リガクの Smart Lab を使用し、粉末 X 線回折法を行う。使用する X 線は $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda=1.5418\text{\AA}$) である。

4. 結果と考察

4.1 一軸圧縮試験および簡易貫入試験

(1) 初期強度発現

図-2 は Na_2CO_3 の配合有無によるセメントベントナイト系充填材の一軸圧縮強度の経時変化を示している。初期圧縮強度を比較すると、配合 A-1 の材齢 7 日圧縮強度が 0.09 N/mm^2 であるのに対して、配合 A-2 では材齢 7 日圧縮強度が 0.30 N/mm^2 となっており、 Na_2CO_3 を配合した充填材の方が大きい。配合 B-1 と配合 B-2 の比較においても同様に、配合 B-1 の材齢 7 日圧縮強度が 0.37 N/mm^2 、配合 B-2 の材齢 7 日圧縮強度が 0.59 N/mm^2 であり、 Na_2CO_3 を配合した充填材の方が大きい。よって、 Na_2CO_3 を配合することによりセメントベントナイト系充填材の初期強度が増大すると考えられる。なお、材齢 7 日以後材齢 28 日までの圧縮強度の発現挙動に Na_2CO_3 の有無による大きな違いが確認できないことから Na_2CO_3 は材齢 7 日以前の比較的初期の強度発現に影響していると考えられる。

図-3 は Na_2CO_3 の配合有無によるセメントベントナイト系充填材の簡易貫入試験結果 (抵抗値) の経時変化を示している。配合 A-1, B-1 では混合攪拌後、約 8 時間が経過してから抵抗値が上昇しているものの、配合 A-2, B-2 の Na_2CO_3 を配合した充填材では混合攪拌後、約 1 時間が経過してから抵抗値が上昇していることが確認できる。すなわち、セメントベントナイト系充填材の凝結開始時間が早期化していることから、 Na_2CO_3 の配合が材齢 1 日レベルでのゲル化性能に影響していると考えられる。

混合攪拌後 1 時間でゲル化が生じることは地盤内において地下水の浸入を防ぐ効果を発揮し、セメントベントナイト系充填材が安定した強度を発現することの一助となり得る。また、性質の異なる複数の充填材を深度ごとに分割して埋め戻し作業を行う場合、複数の充填材が互いに混合することなく鉛直方向に整列した状態で、大きな時間のロスなく埋め戻すことが可能となる。以上より、セメントベントナイト系充填材への Na_2CO_3 の配合は混合直後からゲル化を促進し、充填材として有用な効果を発揮する。

(2) 長期強度

図-2 より Na_2CO_3 の有無によるセメントベントナイト系充填材の長期強度を比較する。配合 A-1 と配合 A-2, 配合 B-1 と配合 B-

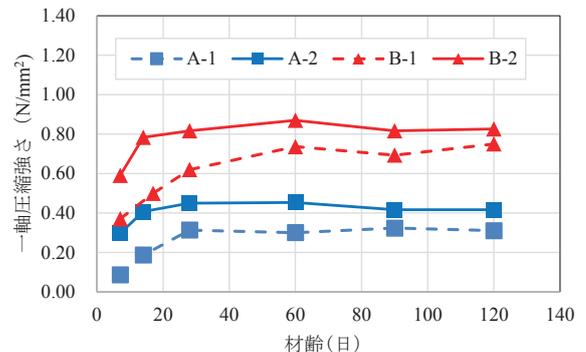


図-2 一軸圧縮試験結果 (Na_2CO_3 の有無による違い)

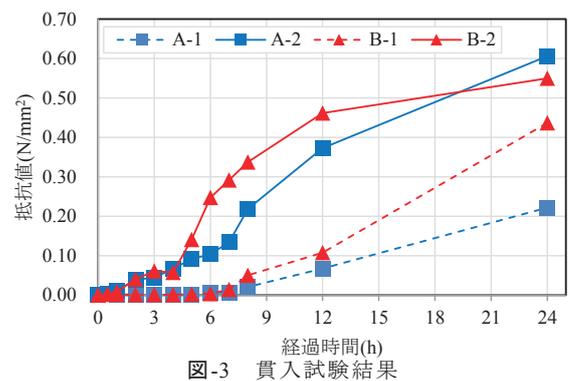


図-3 貫入試験結果

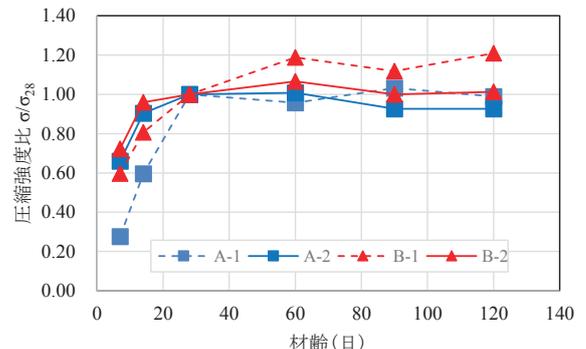


図-4 圧縮強度比 (Na_2CO_3 の有無による違い)

2を比較すると、いずれの材齢においても Na_2CO_3 を配合した充填材の方が大きな圧縮強度を示している。一方、強度発現の傾向としては、いずれの配合においても材齢 28 日程度まで強度が増加し、それ以降はほとんど強度増加しない傾向が確認できる。

図-4 は、図-2 を基本として材齢 28 日の圧縮強度で正規化した値（以下、圧縮強度比とする）でまとめている。図-4 の圧縮強度比より各配合を比較すると、材齢 28 日以降の長期強度発現挙動において Na_2CO_3 の有無による大きな違いは確認されず、配合 B-1 を除いて圧縮強度比は 1.0 付近の値である。よって、 Na_2CO_3 を配合することによるセメントベントナイト系充填材の長期圧縮強度発現への影響は確認できないことから、各材齢において Na_2CO_3 配合時の方がセメントベントナイト系充填材の強度が大きい要因は、材齢初期の圧縮強度の増大分が長期圧縮強度に影響しているためであると考えられる。

4.2 ブリージング試験

表-2 はブリージング試験および流動性試験の結果を示しており、 Na_2CO_3 の有無による結果の比較を行う。これより、配合 A-1、B-1 では時間の経過とともにブリージング率が大きくなる傾向に対し、 Na_2CO_3 を配合した配合 A-2、B-2 では混合攪拌 1 時間後に約 0.5% のブリージング現象が確認されたのみであり、その後ブリージング現象が生じていない。

表-3 は Na_2CO_3 を配合したセメントベントナイト系充填材について、膨潤度の異なる 2 種類のベントナイトを用いた場合におけるブリージング率の変化を示している。配合 C-1 と D-1、C-2 と D-2、C-3 と D-3 を比較すると、いずれにおいても配合 E のブリージング率が比較的低い値を示す。また、配合 C のブリージング率は時間の経過に伴い一定あるいは増加する傾向が確認されるのに対して、配合 D のブリージング率は時間経過に伴い増加することなく、24 時間後には 0% を示している。これより、膨潤度が高いベントナイトを使用する方が高いブリージング抑制効果を発揮する、且つ少量でもブリージング現象が十分に抑制される。

Na_2CO_3 の配合によるセメントベントナイト系充填材のブリージング率の減少は、ベントナイトの膨潤性増加およびセメントベントナイト系充填材の早期ゲル化性能が要因として挙げられる。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吸水膨潤性を発揮している。Ca 型ベントナイトと比較して Na 型ベントナイトの方が単位層間の電気的な引力が弱いので、層間陽イオンが水分子を吸着した際に膨潤しやすい性質を有する。前述のように、 Na_2CO_3 が水に溶解して電離することで Na^+ が発生し、ベントナイト中の層間陽イオンに含まれる Ca^{2+} とイオン交換される。層間陽イオンのイオン交換性は、 $\text{Na}^+ < \text{K}^+ < \text{Ca}^{2+} < \text{Mg}^{2+}$ の順に増し、1 価の陽イオンよりも 2 価の陽イオンの方が選択性が高い¹²⁾。イオン交換は可逆的な反応であるため、 Na^+ と Ca^{2+} のイオン交換はイオン選択性に関わらず起こりうるため、上記の反応により Ca^{2+} は CaCO_3 として不溶化することから Na^+ の濃度が高くなる。 Na^+ の濃度が高い環境においては層間陽イオンに Na^+ が選択されやすくなり、ベントナイトは Na 型としての性質を強めるため、ベントナイトの膨潤性が増加したと考えられる。加えて、 CaCO_3 が生成することによって早急に硬化体が形成されて未水和のセメント粒子が取り込まれ、セメント粒子の沈降を抑制すると考えられる。また、セメントとの水和反応に水分子が消費されていることによって水量が減少する。よって、 Na_2CO_3 の配合によるベントナイトの膨潤性増加およびセメントベントナイト系充填材の早期ゲル化作用、セメントと水の水和反応などの複数の現象が関係して、 Na_2CO_3 を配合したセメントベントナイト系充填材では混合攪拌直後から数時間以内にブリージング現象が生じなくなったと考えられる。

4.3 流動性試験

表-3 における流動性試験の結果より、各配合においてセメントベントナイト系充填材および Na_2CO_3 を配合したセメントベントナイト系充填材のフロー値は 7.7 秒程度であり、 Na_2CO_3 を配合することによるセメントベントナイトの流動性低下は確認できない。すなわち、前述のとおり混合攪拌から 1 時間程度でゲル化が始まっていることから、ゲル化に伴う初期強度発現は混合攪拌直後の打設時の流動性に影響を及ぼさない。また、流動性が高い場合は粘性が低くなり材料分離を生じやすくなるが、 Na_2CO_3 を配合したセメントベントナイト系充填材は前述のとおりブリージングがほぼ発生しておらず、材料分離が生じていない。よって、 Na_2CO_3 を配合したセメントベントナイト系充填材は、材料分離を引き起こすことなく、充填材としての作業性が確保されている適度な粘性を有している。

4.4 XRD 分析

表-1 の配合 E に従って作成した供試体を所定の期間養生し、XRD (X 線回折) による分析を行い、 Na_2CO_3 を配合したセメントベントナイト系充填材の強度発現機構について考察する。配合 E-1 は低膨潤ベントナイトを使用したセメントベントナイト系充填材、配合 E-2 は E-1 に Na_2CO_3 を配合したセメントベントナイト系充填材、E-3 は高膨潤度ベントナ

表-2 フロー試験およびブリージング試験結果

配合 No.	流下時間 (kg/m ³)	ブリージング率 (%)		
		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

表-3 ベントナイトの膨潤度による違い

配合 No.	ブリージング率 (%)		
	1 時間後	3 時間後	24 時間後
C-1	2.0	2.5	2.5
C-2	1.5	1.9	1.5
C-3	1.4	1.9	1.4
D-1	1.0	1.0	0.0
D-2	1.0	1.0	0.0
D-3	1.0	1.0	0.0

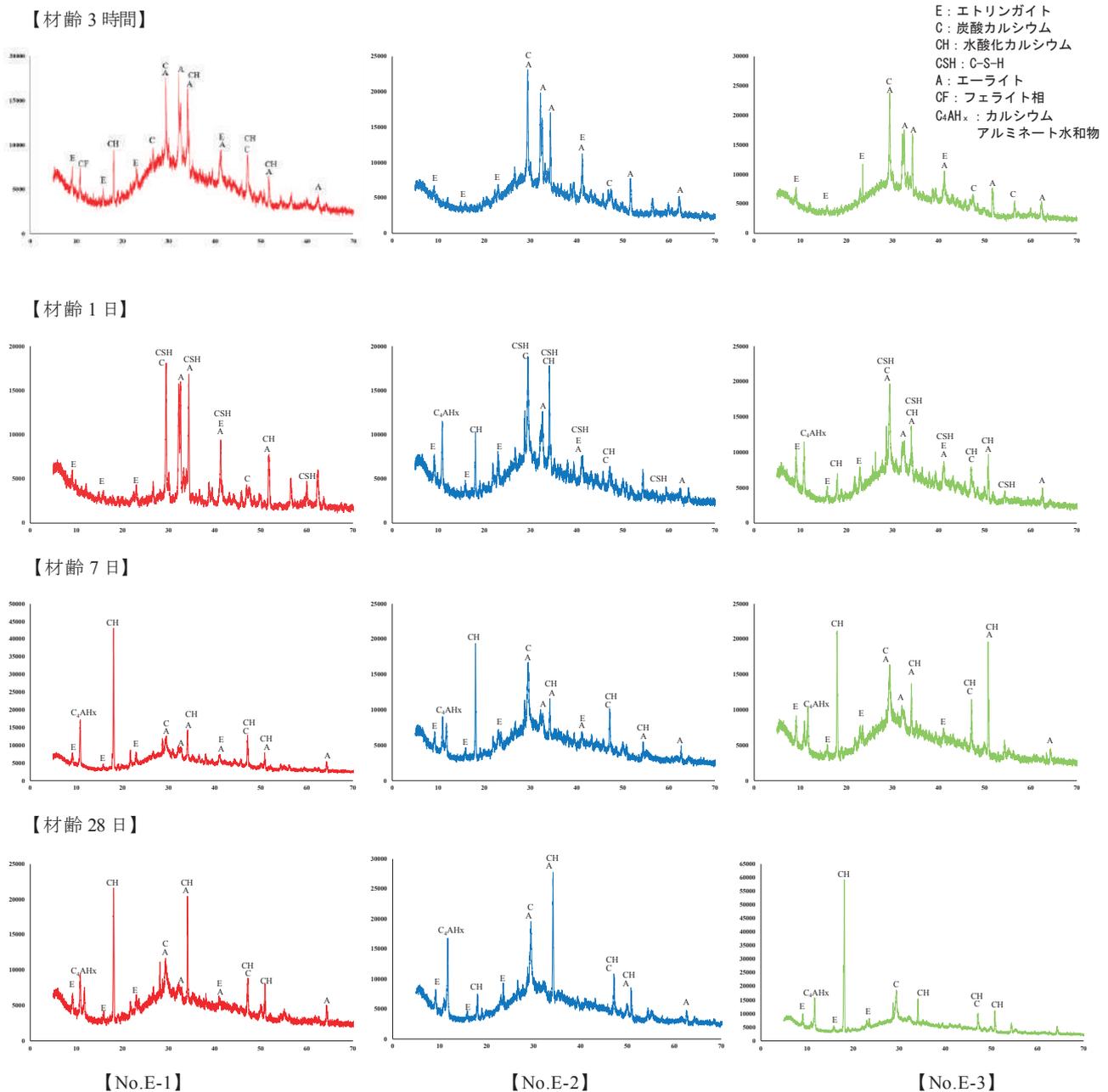


図-5 XRD 分析結果 (横軸: 2θ(deg) / CuKα, 縦軸: intensity(counts))

イトを使用し Na_2CO_3 を配合したセメントペントナイト系充填材である。

図-5 は XRD の結果を示す。材齢 3 時間ではいずれの配合においてもケイ酸三カルシウム(エーライト)が検出されており、いずれも反応が大きく進んでいないことが分かる。エトリンガイトや水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)、炭酸カルシウム (CaCO_3) もピークが表れているが、配合 E-1 では最もブロードなピークで検出されており、炭酸ナトリウムを加えている配合 E-2, E-3 の方が反応が早まっているといえる。しかし、材齢 1 日では、配合 E-1 で C-S-H が検出されているのに対して、配合 E-2, E-3 では C-S-H がブロードなピークとして検出されており、反応が配合 E-2, E-3 の方が遅延している可能性が考えられ、一軸圧縮試験結果と反している。しかし、エトリンガイトや $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は配合 E-2, E-3 の方が鋭いピークを示しており、総合して強度が大きくなっていったと考える。また、E-2, E-3 では材齢 1 日から $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、カルシウムアルミネート水和物が確認できるのに対し、E-1 では材齢 7 日から確認できることから、炭酸ナトリウムを加えている方が水和反応が促進され、また、緻密な結晶化がされると考えられる。材齢 7 日、28 日になると配合 E-1 に比べて炭酸ナトリウムを配合している配合 E-2, E-3 の方が水和生成物のピークがより鋭く表れており、水和反応が十分に進んでいることが分かる。特に高膨潤ペントナイトを用いた E-3 で明瞭に鋭いピークが表れている。

4.5 強度発現メカニズムの考察

Na_2CO_3 を混合することによる早期強度発現のメカニズムについて考察する。セメントは水と混合することでエーライト (C3S) とアルミネート相 (C3A) の溶解反応が生じ、数分で緩慢となった後に水和反応が停滞する水和潜伏期に入る。その後数時間で加速期に入ると、C3S が再度活発に水和反応を起こし C-S-H, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が生成される。重ねて石膏の消

費に伴う C3A の水和反応が生じ、エトリンガイトが生成される^{7),13)}。Na₂CO₃ は初期水和後の C3S と水の接触を妨げることなく水和潜伏期間を見かけ上省くため、C3S および C3A の水和反応が早急に行われる¹⁴⁾。このことから、Na₂CO₃ を混合したセメントベントナイト系充填材では材齢初期からセメントの水和が促進され、エトリンガイトが検出されたと考えられる。

次に、ベントナイトと Na₂CO₃ について着目する。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るが、イオン交換性を有していることから多種類の陽イオンとイオン交換することによって容易に性質が変化する。一方、Na₂CO₃ は水に溶解するとナトリウムイオン (2Na⁺) と炭酸イオン (CO₃²⁻) に電離する。よって、ベントナイト中の層間陽イオンに含まれる Ca²⁺ と Na₂CO₃ から電離した Na⁺ がイオン交換を行い、Ca²⁺ と CO₃²⁻ が結合することにより炭酸カルシウム (CaCO₃) が生成する。CaCO₃ は非水溶性の物質であり、分子同士が結びつくことによって硬化体を形成し、セメントベントナイト充填材をより緻密する。すなわち、Na₂CO₃ を配合することによるセメントベントナイトの初期強度の増加は、混合攪拌直後から生成する CaCO₃ による硬化体形成に起因していると考えられる。

また、CaCO₃ が生成することによる初期強度の増加分は、Na₂CO₃ を配合したセメントベントナイト系充填材の長期強度の増加分としても現れていると考えられる。また、Ca イオンには土粒子を凝集させる効果があり、CaCO₃ が不溶性の硬化体を形成していく過程でベントナイト粒子同士を接合させるため¹³⁾、CaCO₃ とベントナイトによる硬化体の形成および緻密化が各材齢における強度増加の要因である可能性が考察される。

以上より、Na₂CO₃ の混合がセメントの水和反応を促進すること並びに、Na₂CO₃ とベントナイトのイオン交換過程から生成される CaCO₃ による緻密化が早期強度発現と強度増加を引き起こすと考察される。また、Na₂CO₃ の混合がベントナイトの高膨潤化を引き起こし、ブリージングを抑制に作用していると考えられる。

5. おわりに

本研究では、Na₂CO₃ を配合することによるセメントベントナイトの諸特性について、強度特性、材料分離および流動性の観点から検討した。また、物理試験および分析試験結果から、Na₂CO₃ を配合することでセメントベントナイトに発現される性質の発現メカニズムについて考察した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 一軸圧縮試験結果より、Na₂CO₃ を配合することによってセメントベントナイト系充填材の初期および長期強度は増大する。また、初期強度発現効果により、早急に空洞を有する地盤を安定させることが可能である。
- (2) 貫入試験結果より、Na₂CO₃ を配合することによってセメントベントナイト系充填材は打設後 1 時間程度からゲル化性能を発揮する。早急なゲル化は地下水の充填材への浸入を防ぎ、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。
- (3) ブリージング試験結果より、Na₂CO₃ を配合することによって、セメントベントナイト系充填材のブリージング現象は抑制される。すなわち、地盤内空洞へ注入した場合、材料分離が発生せず、深度方向による強度のばらつきが少なくなる。
- (4) 流動性試験結果より、Na₂CO₃ を配合したセメントベントナイト系充填材は地盤内空洞への注入作業に要する流動性を有している。
- (5) ベントナイトの膨潤度が高いものは、少量のベントナイトにおいてもブリージング抑制効果を発揮する。
- (6) XRD の結果より、Na₂CO₃ を配合することによってセメントの水和反応が促進され、セメントベントナイト系空洞充填材の早急なゲル化および早期強度発現効果を与えることが分かった。

参考文献

- 1) 村上隆生：基礎杭の残置、埋戻し部分の地盤支持力の瑕疵を否定し、代理業者の説明義務違反も否定した事例、RETIO, No.82 pp.166-167, 2011
- 2) 桑原文夫：杭の支持層到達を確保するための方策、基礎工, Vol.45, No.8, pp.2-7, 2017.
- 3) 総務省：公共施設等の解体撤去事業に関する調査結果, pp.2-7, 2012.
- 4) 桑原秀一、濱田聡一郎、鳥越友輔、稲積真哉：既存杭の引抜工法の開発と引抜孔が周辺地盤に及ぼす影響について、第 71 回土木学会年次学術講演会概要集, pp.41-42, 2016.
- 5) 既存杭引抜工法協会：既存杭引抜工事「その目的から計画～工事」、既存杭引抜工法協会, 2017.
- 6) 鳥光照雄、岩淵常太郎、坂本克美：小橋秀俊土を固める原理と応用、土と基礎, Vol.52, No.12, pp.101-108, 2004.
- 7) 社団法人セメント協会：セメント系固着剤による地盤改良マニュアル、技報出版株式会社, pp.29-32, 2003.
- 8) 堀井宏謙、西正晃、山崎勉、酒本純一、道前大三、宇高泰：コンクリート再生材を利用したセメントベントナイト複合固化体の開発、日本建築学会大会学術講演概要集, pp.487-488, 2007.
- 9) 加藤清志、加藤直樹、湯沢敏雄、増川勲：急速硬化促進されたコンクリートの極初期強度による長期強度及び単位セメント量の迅速評価法に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集, Vol.12, No.1, pp.343-346, 1990.
- 10) 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, pp.15-24, 2014.
- 11) 一般社団法人日本分析機器工業会：JAIMA ホームページ〈<https://www.jaima.or.jp/jp/analytical/basic/>〉, 2018.8.19 参照
- 12) 鬼形正伸：ベントナイトの特性とその応用、粘土科学, Vol.46, No.2, pp.131-138, 2007.
- 13) 宮川豊章、岡本享久：図説わかる材料（土木・環境・社会基盤施設をつくる）、株式会社学芸出版社, p.25, 2013.
- 14) 半田栄一：セメント・コンクリートと無機工業薬品、CREATIVE 技術報告書, No.4, pp.23-31, 2003.