

大量に廃棄される非飛散性アスベスト含有建 材の常温分解処理と再利用法の開発と研究

課題番号: 3K143011

研究実施期間: 平成26~28年度

累積予算額: 39,889,000円

研究代表者

佐賀大学大学院工学系研究科 田端 正明

研究分担者

京都大学 勝見 武

乾 徹

(株)奥村組 大塚 義一

(株)環境アネトス 庄野 章文

背景

- アスベスト含有建材は**工場の壁、駅のホーム、住宅の屋根**などにまだ広く使われている。
- 4,000**万トン以上**が残っており、処理に**30年**以上かかる見込。
- 従って、地震等の**災害**が起きるたびに**アスベスト飛散**が問題になる。
- 災害で発生する多量のアスベストの**迅速で安全な無害化処理**と処理残渣の**再利用法**の開発と研究が重要である。



アスベスト含有
建材



地震で散乱した
アスベスト含有
建材(熊本地震、
2016)

サブテーマと研究体制

相互の連携と協議

①スレートの常温分解法の研究
田端正明（佐賀大学）、庄野章文（環境アネトス）

②分解生成物の同定と安全性ならびに反応機構に関する研究
田端正明（佐賀大）

③大規模災害を想定したスレート処理システムと消費エネルギーの研究 庄野章文（環境アネトス）、大塚義一（奥村組）

④処理済みアスベスト建材の再資源化技術の開発に関する研究
勝見武（京大）、乾徹（京大）

⑤処理済みアスベスト建材の環境安全性の評価に関する研究
勝見武（京大）、乾徹（京大）

研究の目的と目標

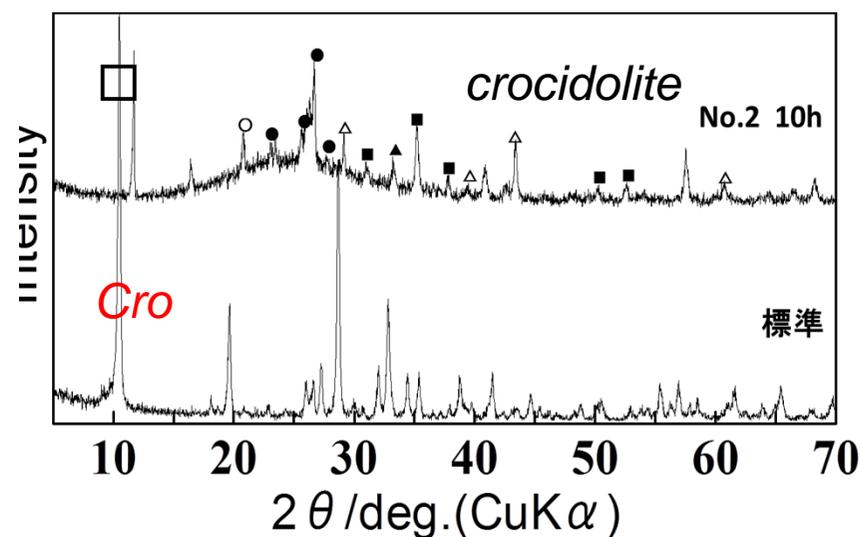
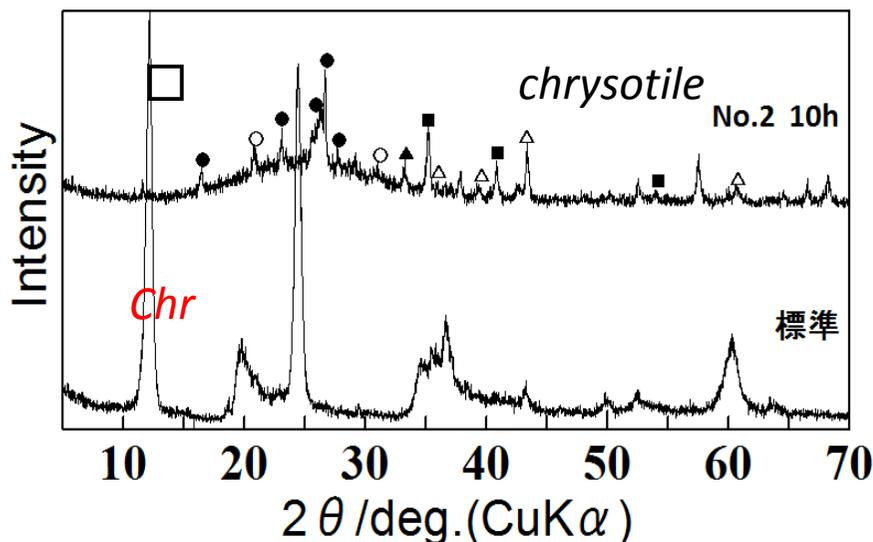
目的

- 災害等で発生する多量のアスベスト含有建材を省エネルギーで分解無害化処理技術の開発と研究
- 分解処理物を再利用した建設材料などの製造技術の開発と研究
- 災害現場で稼働可能な分解処理技術と再利用技術の研究
- 埋立地不要のアスベスト含有建材の処理法の確立

目標

1. 常温分解後のアスベストの含有量を 0.1%未満(環境省告示第99号第1条(無害化の条件)にする。
2. 分解物の安全性を確認し、分解原理を明らかにする。
3. 災害現場で適用可能な分解プロセスフローを確立する。分解処理量を5トン/日にする。消費エネルギーを算定する。
4. 分解処理残渣から汎用の地盤改良技術の適用により建設資材としての再資源化を行う。
5. 建材に含まれる微量有害物質、処理に使用する硫黄分を考慮した環境安全性を検証する。

サブテーマ1:アスベストの常温分解法



- SiO₂ △ CaCO₃, ▲ Ca₅(SiO₄)₂CO₃,
- CaSO₄, ◇ Fe₂O₃, ● S,
- Mg₆Si₄O₁₀(OH)₈ (chrysotile)
- Na₂Fe₅Si₈O₂₂(OH)₂ (crocidolite)



アスベスト分解用のミルとボール

分解条件

IPS 5%, ;水、アスベストの3倍;
 磁製ミル(16 L, Φ = 300 mm);
 セラミックボール(Φ = 20~
 25mm;回転数;60rpm

処理でアスベスト特有のピークが消失した。他4種のアスベストも同じように分解した。



IPS溶液
 (特許, 審判請求中, 2017)

位相差顕微鏡・分散染色法による確認(サブテーマ1)



標準クリソタイル



処理前(5.4%)



3時間処理(1.7%)



9時間処理(1.2%)



21時間処理(0.1%未満)



24時間処理(0.1%未満)

S-71,73,80,81

スレート中のアスベストの分解(サブテーマ1)

処理時間	定性分析(XRD)	定量分析(%) 分散染色法	備考
スレート 破碎前	ピーク有	5.4	原試料
乾式破碎物 2h	有	5.0	破碎試料
IPS添加処理(3h)	有	1.7	硫黄溶剤 5%添加
IPS添加処理(6h)	有	1.2	
IPS添加処理(9h)	有	1.2	
IPS添加処理(6h)	有	1.0	
IPS添加処理(9h)	有	0.5	
IPS添加処理(21h)	ピーク無	0.1%未満	適用 無
IPS添加処理(24h)	無	0.1%未満	適用 無
IPS添加処理(48h)	無	0.1%未満	適用 無

セラミックスボールを使用。21時間処理でアスベストは0.1%未満に達した。

ステンレスミルと鋼球の効果(サブテーマ1)

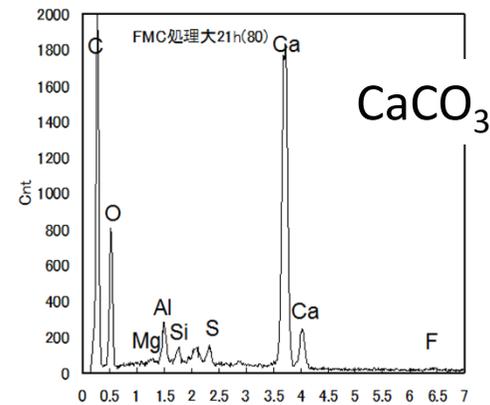
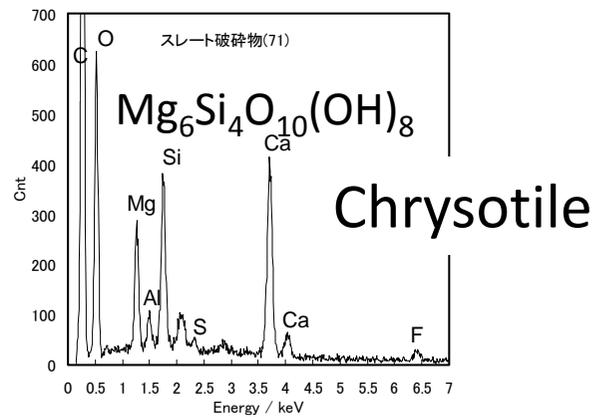
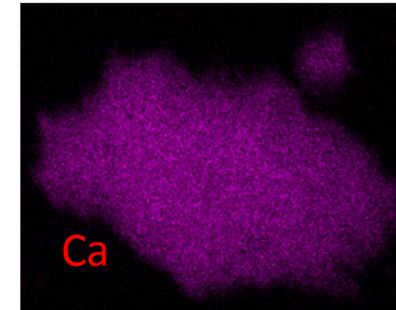
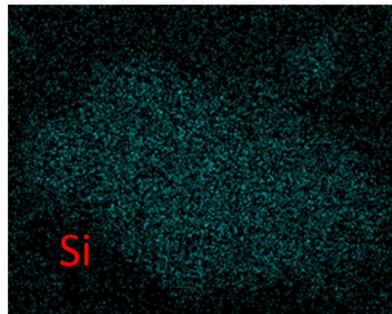
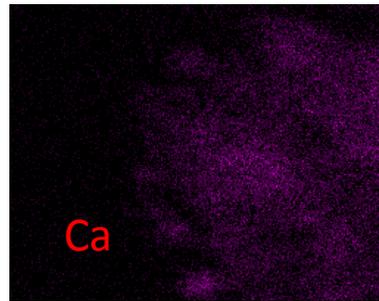
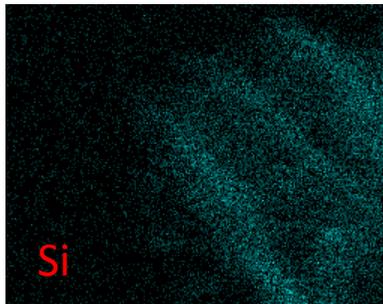
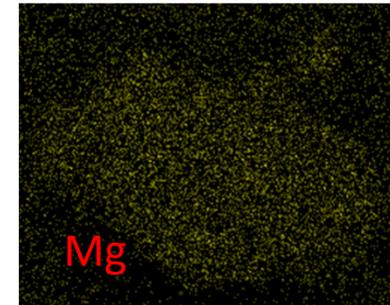
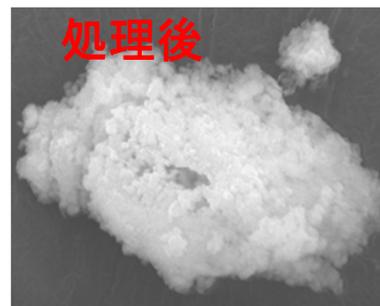
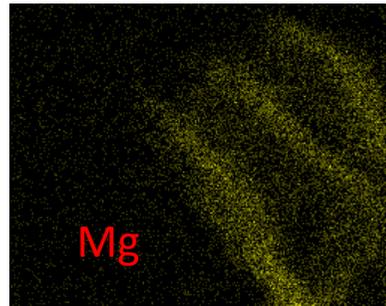
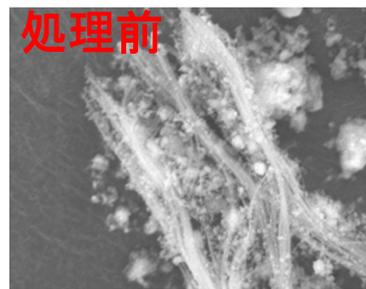
スレート破 砕物	鋼球混合 (Φ20mm・Φ10mm)				スレート破 砕物	鋼球単球 (Φ20mm)			
処理時間 /h (分析番号)	分散色を呈する 粒子数		判定	含有量 (%)	処理時間 /h(分析番 号)	分散色を呈する 粒子数		判定	含有量 (%)
	アスペ クト比3 以上	粒子数				アスペ クト比3 以上	粒子数		
0	29	3	陽	5.4	0	29	3	陽	5.4
1(82)	14	5	陽	4.5	1(84)	1	4	陰	検出セズ
2(83)	12	8	陽	3.6	2(85)	1	4	陰	検出セズ
3(23)	0	2	陰	検出セズ	3(86)	0	1	陰	検出セズ
6(24)	1	1	陰	検出セズ	6(87)	0	1	陰	検出セズ
9(25)	0	2	陰	検出セズ	9(88)	0	0	陰	検出セズ
12(26)	0	1	陰	検出セズ	12	0	0	陰	

ミル(容量8.2L)・鋼球混合(Φ=20 mm8kg, Φ=10 mm 2.7kg) IPS 50g、試料500g、処理水1.5L。スレートサイズ:11.2 mm以下

ステンレスミル(容量8.2L)・鋼球単球(Φ=20 mm, 10.7kg) IPS 50g 試料500g, 処理水1.5L

ステンレス容器と鋼球を用いると3時間処理でアスベストは分解した。
大きな単一鋼球が効果的であった。

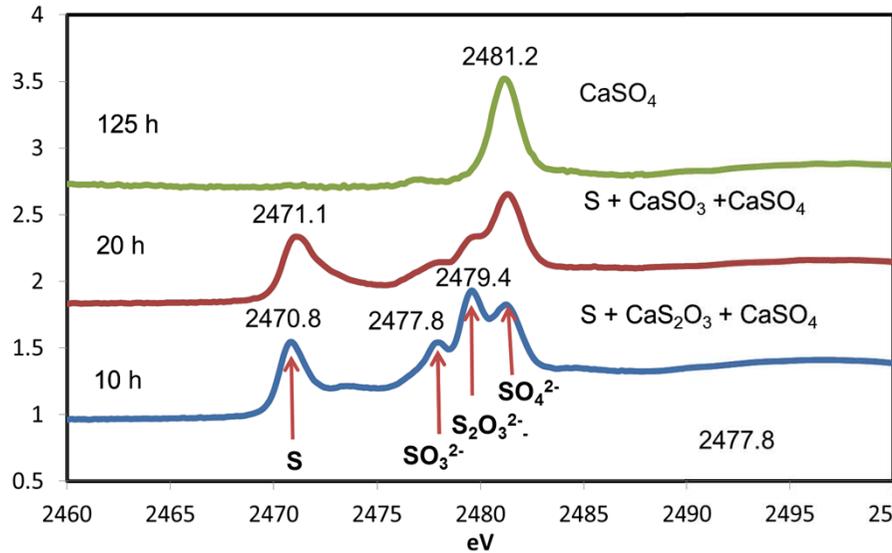
サブテーマ2:アスベスの状態分析(SEM,EDX)



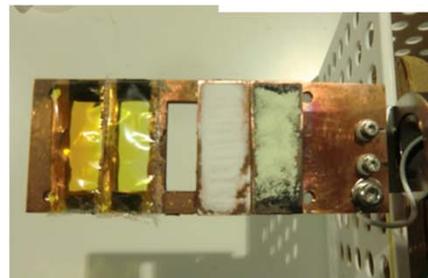
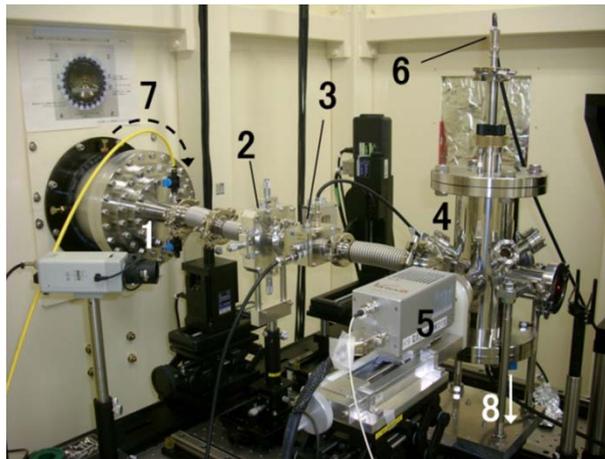
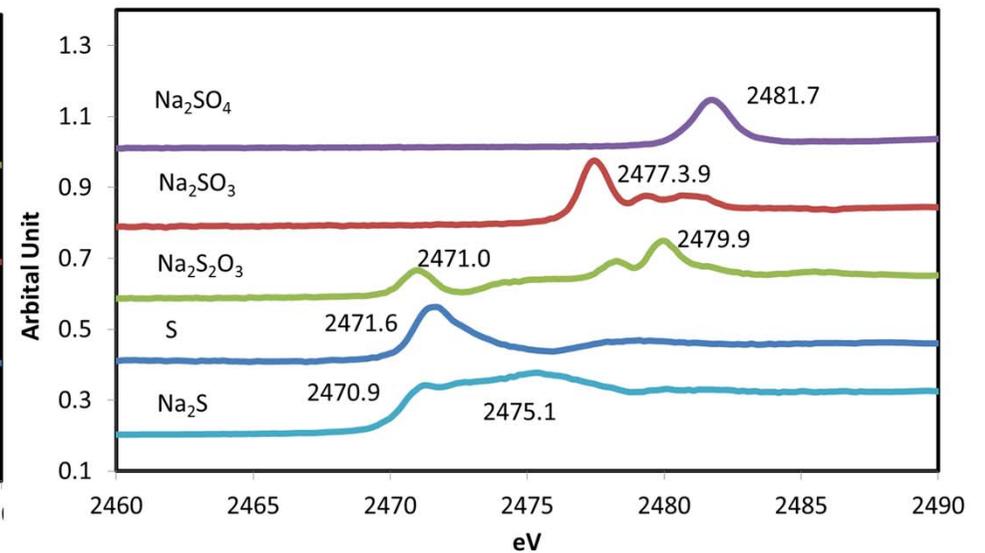
スレート中の繊維状のアスベストはクリソタイルであり、分解後は塊となり、カルサイトであった。

アスベスト分解反応機構(サブテーマ2)、硫黄の状態変化

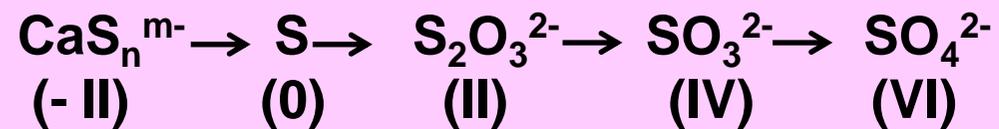
分解処理過程の硫黄の酸化とのXANESスペクトル



標準硫黄化合物の酸化状態とXANESスペクトル



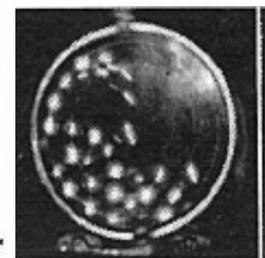
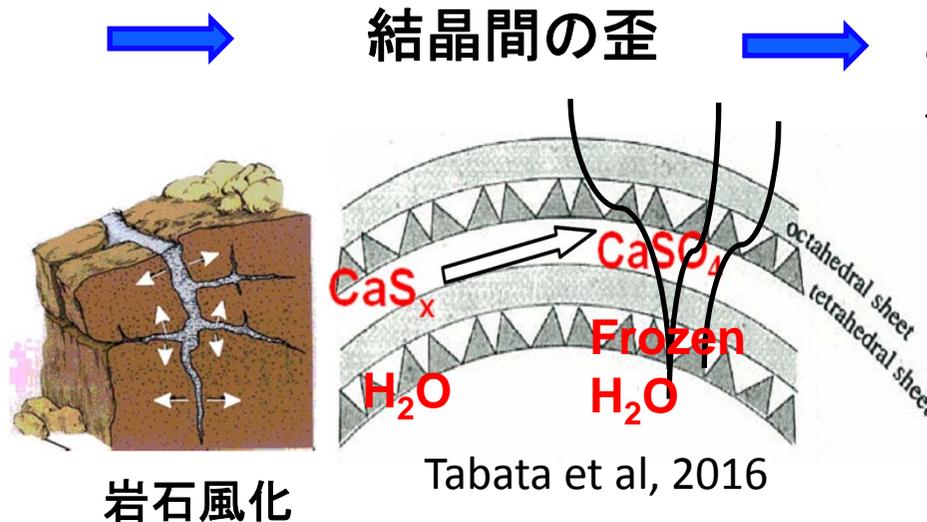
硫黄化合物は処理工程で酸化された。



アスベスト分解機構(サブテーマ2)

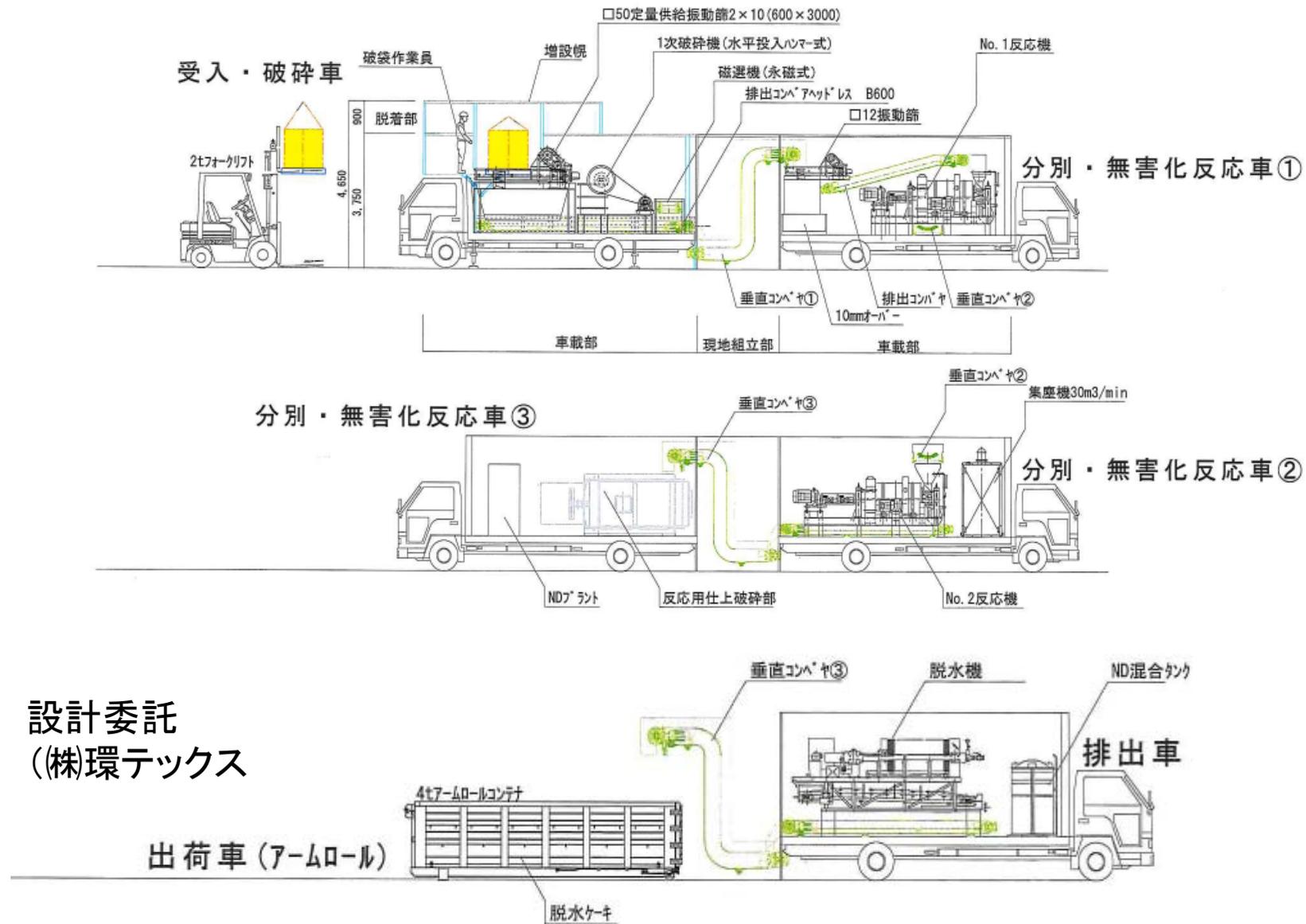
- IPS溶液がアスベスト結晶間隙への浸透し、**硫黄が酸化され体積が膨張**し、アスベスト**結晶構造**を歪ませる。
 S^{2-} (1.70 Å) \rightarrow SO_4^{2-} (2.44 Å)
- 歪んだアスベストがキルン内での鉄球の衝突により分解し、無定形化する。**メカノケミカル反応**

- IPSのアスベスト結晶間隙への貫入
- 硫黄の酸化による**体積の増大**
- 間隙水の氷結による**体積膨張**(液体窒素実験)

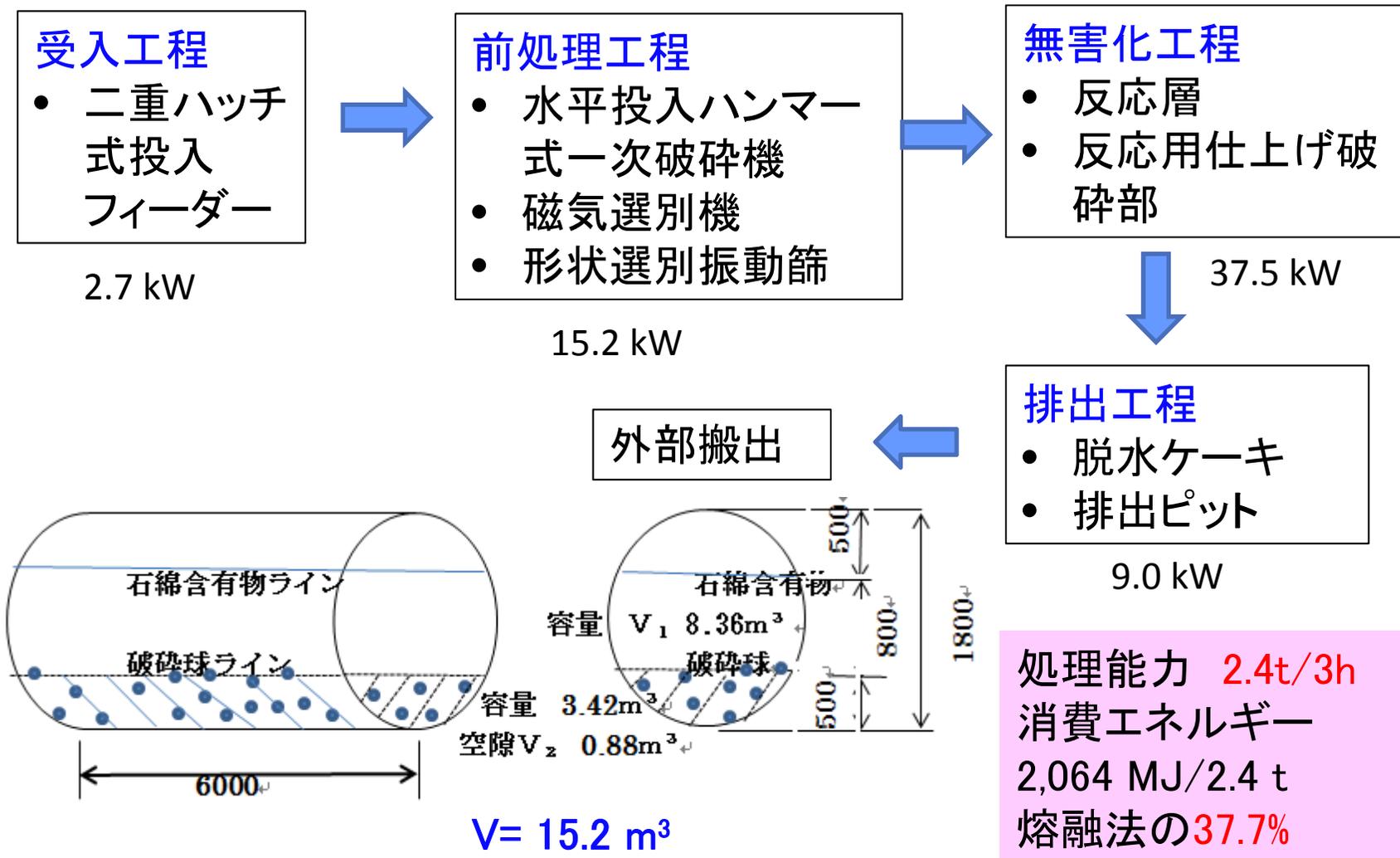


林, 齊藤, 1957

サブテーマ3: 災害地を想定したアスベスト含有建材の分解工程



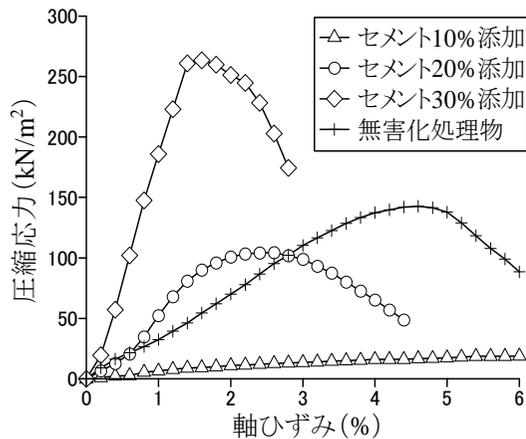
アスベスト分解工程と消費エネルギー(サブテーマ3)



サブテーマ4: 地盤改良技術の適用性

安定化処理

- 高含水状態からの直接処理を想定
- セメント添加量10～30%(質量比)

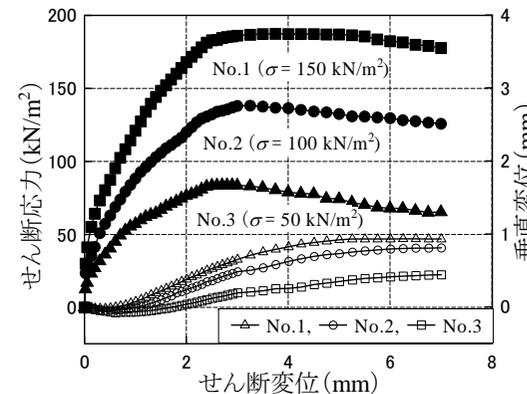


主な成果

- 高含水比残渣にセメント添加20%で乾燥+締固め試料と同程度の強度
- 乾燥密度が小さく、軽量埋め戻し材料としての利用可能性

粒状化処理

- 自然乾燥による含水比低下後(90%)の処理を想定
- 回転ミキサーによる3時間の造粒



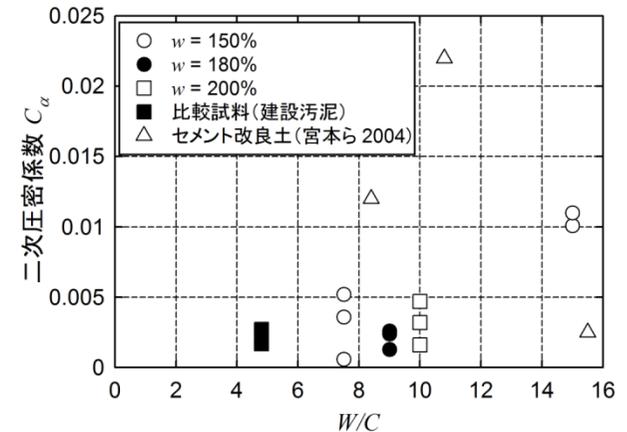
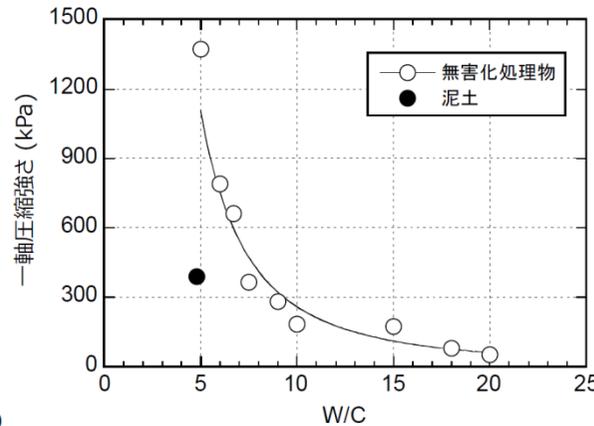
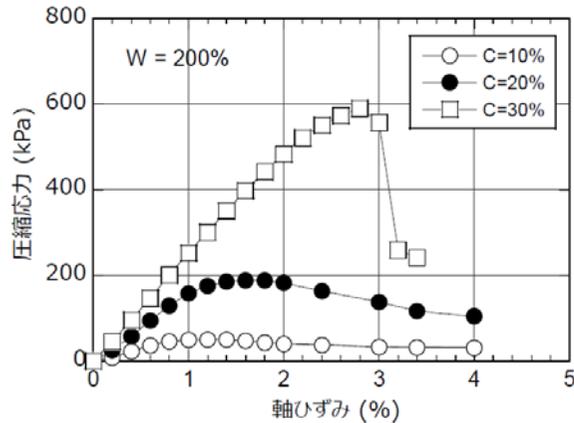
主な成果

- 平均粒径が10倍、細粒分が35%から0.1%以下に低減
- 砂質土と同程度のせん断強度
- 有意な粒子破碎は発生しない。

サブテーマ4: 地盤改良技術の適用性

流動化処理

- 高含水状態からの直接処理を想定
- 流動性の高い充填材料としての利用



主な成果

- 無害化処理物の保水性が高いため、高含水比でもブリージングが発生しにくく、水セメント比W/Cの調整により一軸圧縮強度・変形係数を制御することができる。
- 同程度の間隙比、W/Cのセメント改良土と比較して、膨張指数、二次圧密係数は概ね同じ値を示し、スレートを母材とすることによる変形性への影響は小さい。

サブテーマ5: 環境安全性の評価

第2種特定有害物質の溶出

処理方法	セメント添加率(%)	溶出量(mg/L)	
		六価クロム	セレン
処理残渣	0	<0.02	0.015
安定化処理	CASE1	10	<0.02
		20	<0.001
		30	<0.001
	CASE2	10	<0.001
		20	<0.001
		30	<0.001
粒状化処理	20	0.03	<0.001

主な成果

- 土壌含有量は全項目で環境基準を満たす。
- セメント処理により微量の溶出が見られたセレンの溶出は低減
- セメント添加に伴う六価クロムの溶出も基準を満たす。

硫化水素等の発生ポテンシャル

- ▶ 強度試験を行った試料(無害化処理物と養生7日後試料)に対して実施。
- ▶ 廃石膏ボード再資源化材に適用される試験方法に準拠(遠藤ら 2010)



- ▶ 硫化水素
 - ▶ すべて検出限界(0.1 mg/L)以下。
- ▶ 二硫化炭素
 - ▶ 無害化処理物(0.16 mg/L)、締固め+セメント添加量10%の安定化処理物(0.05 mg/L)において検出
 - ▶ 今後の課題: 二硫化炭素発生ポテンシャルの詳細な検討(高温条件下)

本研究で得られた成果(科学的意義・環境施策への貢献)

科学的意義

1. スレートにIPS溶液を加え、ステンレス容器内で鋼球と一緒に3時間以上の攪拌することでアスベストの含有率は0.1%未満になった。
2. 分解生成物はCaCO₃を主成分とする粒状の塊となり、その安全性を確認した。
3. アスベストの分解は、IPSのアスベスト結晶間隙への貫入、イオン半径の増大、アスベストの歪とボールミルとの衝撃によって、起きることを明らかにした。
4. 災害現場で適用可能な、可搬型アスベスト分解装置を設計した(委託)。処理能力(4.8トン/日)。消費エネルギー(4,1MJ/4.8t)。
5. 汎用の地盤改良技術を応用して、処理残渣物の粒状化処理、安定処理、流動化処理によって地盤材料の利用可能性を明らかにした。
6. 再資源化材料および製品加工過程からの副産物の環境安全性を確認した。

環境施策への貢献

1. 省エネルギー型で、災害現場で適用可能なアスベスト常温分解
2. アスベスト処理残渣の地盤材料として有効利用
3. 埋立て不要のアスベスト建材の処理法の構築

主な研究成果

<論文(査読あり)>

1. Masaaki Tabata, Akifumi Shono (2015): The Reuse of Supernatant after Metal Treatment in Fly Ash for Decomposition of Asbestos, *Proceedings of The 2nd 3R International Conference*, Daejeon, Korea, 69-72, 2015.
2. Masaaki Tabata, Akifumi Shono and Abdull Ghffar: Decomposition of Asbestos by a Supernatant Used for Immobilization of Heavy Metals in Fly Ash, *J. Mat. Cycl. Wast. Manag.*, **2016**, 18,2016. 483-492.
3. Shinohara, S., Inui, T., Takai, A., and Katsumi, T. (2015): Improvement of sludge generated from mechano-chemical treatment of waste slate containing non-scattering asbestos, *Geo-Environmental Engineering 2015*, Concordia University, Montreal, Canada, May 21-22, 2015, on USB.
4. Morotomi, T., Inui, T., Takai, A., and Katsumi, T. (2016): Mechanical properties of liquefied stabilized sludge generated from mechano-chemical treatment of waste slate, *Geo-Environmental Engineering 2016*, Nantes National University, Nantes, France, June 2-3, 2016, on USB.
5. 乾 徹・篠原智志・諸富鉄之助・勝見 武・高井敦史・水野克己 (2016): 非飛散性アスベスト含有建材無害化処理物の含水比に応じたセメント改良技術の適用性, 第11回地盤改良シンポジウム論文集, 日本材料学会. pp.331-336.

研究成果(続き)

<学会発表>

1. 田端正明、庄野章文:アスベスト常温分解法の分解機構に関する研究、第26回廃棄物資源循環学会研究発表会、2015年9月2~4日、九州大学、福岡。
2. 田端正明、庄野章文:災害時に発生するスレート建材中のアスベストの分析と簡易分解法の研究、日本分析化学第65年会、2016年9月14~16日、北海道大学、札幌
3. TABATA, Masaaki; SHONO, Akifumi: Mechanochemical Decomposition of Asbestos involved in Slates in the Presence of Calcium Polysulfide. 日本化学会第96春季年会2016, 2016年3月24~27日、同志社大学 京田辺キャンパス。
4. Masaaki Tabata, Akifumi Shono and Shinya Ueda, Determination and Decomposition of Asbestos in Slates Scattered by Kumamoto Earthquake, April, 2016. AsianalysisXIII, Dec. 8-11, Ching Mai, Thailand, 2016.
5. 篠原智志・乾 徹・高井敦史・勝見武 (2015): 非飛散性アスベスト含有建材無害化処理残渣の地盤材料としての適用性, 平成27年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, 土木学会関西支部, III-16
6. 篠原智志・乾 徹・高井敦史・勝見武 (2015):非飛散性アスベスト含有建材の無害化処理過程で排出される高含水比残渣に対する地盤改良技術の適用性,第50回地盤工学研究発表会平成26年度発表講演集, pp.2401-2402.
7. 諸富鉄之助・乾 徹・高井敦史・勝見武 (2016): 非飛散性アスベスト含有建材無害化処理残渣の流動化処理土への適用性, 平成28年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, 土木学会関西支部, III-29.
8. 諸富鉄之助・乾 徹・高井敦史・勝見武 (2016): 非飛散性アスベスト含有建材の無害化処理過程で排出される高含水比残渣を用いた流動化処理土の強度変形特性, 第51回地盤工学研究発表会平成28年度発表講演集, 地盤工学会, on CD

<報道>

1. 日本分析化学会第65年会で発表した「災害時に発生するスレート建材中のアスベストの分析と簡易分解法の研究」が学会の展望とトピックスの一つに選ばれ、日本分析化学会事務局で記者会見がなされた。日時:平成26年9月5日(月)16:30~18:00、参加報道機関、9社13名、学会側から4名。

本研究で得られた主な成果



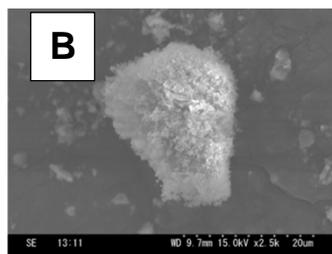
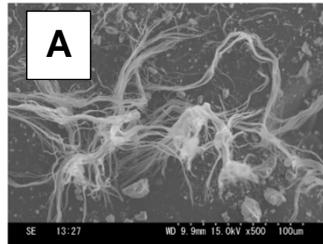
アスベスト含有建材の建物



地震で倒壊した家屋と散乱したスレート



災害地で回収されたスレート



分解処理前(A、含有率、8.3%)、
処理後(B、含有率、0.1%未満)。



アスベストの常温分解装置

災害現場で可能な
アスベスト常温分解

分解処理残渣の地盤
材料としての再利用



造粒材料(C)、流動性充填材料(D)

埋立地
不要