

論文 カルシウムアルミネート系防草固化材の基礎物性と防草効果

蔵本 悠太*1・寺島 勲*2・佐々木 崇*3・盛岡 実*4

要旨：カルシウムアルミネートを主成分とする防草固化材を開発し、その基礎物性と防草効果について既存のセメント系防草固化材やマグネシア系防草固化材と比較検討した。その結果、カルシウムアルミネート系防草固化材は、従来の防草固化材と比較して短時間で防草効果を発揮する強度を発現することが分かった。また、本防草材からは六価クロムの溶出は検出されなかった。さらに屋外暴露試験により、施工から1年半経過後も雑草の発生を抑制することを確認した。

キーワード：防草、カルシウムアルミネート、早期開放、六価クロム

1. はじめに

鉄道、道路、電気施設、農地、家庭の庭などあらゆる箇所では防草技術が求められる。農地では、農業での生産性を向上させるために、光や栄養分に基づいて雑草と作物の競争速度について検討されている報告¹⁾や土壌温度に着目した雑草の成長速度の検討²⁾や、種子の発芽条件の検討³⁾など、雑草の発生を抑制するために多くの研究がなされている。

さらに、学校等の児童施設で子供の転倒防止のために不要な植物を処理していることや、観光地で景観を確保のために余分な植物の発生を抑えること、自然公園等で歩道を確保するためなど、様々な目的で雑草の除去を実施している。

雑草を処理する最も一般的な手段は草刈りである。手作業に加え、回転鋸をエンジン等の原動機で動作させる草刈機を用いて、雑草の地上部を切断する方法である。地上部の雑草を除去できるが、残存した根から再度雑草が発生するため、定期的に草刈りを実施する必要がある。また、回転鋸を使用するため、作業者は作業に際し十分に安全に配慮する必要がある。

また雑草を除去する手段として、除草剤を使用する方法がある。除草剤は薬剤を植物の葉や根から吸収させ、光合成の阻害や、アミノ酸の合成を阻害することで植物の成長を阻害する。使用方法としては、液体成分を対象植物に散布する方法がある。そのため、降雨により有効成分が流出してしまうことや、効果が一時的である等の課題やさらに、植物が薬剤への耐性を獲得してしまう報告もされている⁴⁾。

さらに、防草シートを使用する方法がある。除草後の土壌表面にフィルムまたはシートを被せることで、太陽光を遮断することで光合成を阻害し、雑草の生育を抑制す

るものである。しかしながら、シート表面が飛来物などで破けてしまうと、切創部から雑草が再度繁殖してしまう場合もある。除草後の土壌表面を固化材(以下、防草材と称す)で覆うことで、雑草の発生を抑制する方法がある。防草材の材料として最も一般的であるのはセメントであり、砂とブレミックスした材料を除草後の土壌表面に覆い、水を散水して固める方法やコンクリートを打設して固める方法がある。しかし、セメントに含まれる六価クロムが周辺環境に流出する可能性や高い pH のために周辺の植栽への悪影響も懸念される。また、環境負荷を低減する防草材として、マグネシアを主成分とした防草材がある⁵⁾。低 pH 材料であるが硬化時間が長いので、防草に効果を発揮する強度を発現するまでに長い時間を必要とし、その間に降雨や風雪に曝されたり、適切な養生が維持されないと、本来の防草効果が得られない課題があった。

一方、ポルトランドセメントの硬化を早める混和材の代表としてカルシウムアルミネート系急硬材⁶⁾があり、床版上面増厚工事や無収縮モルタルや補修材に利用されている。カルシウムアルミネートは水和反応により、エトリンガイトを生成する⁷⁾。エトリンガイト自体の pH は水酸化カルシウムに代表されるセメント水和生成物の中でも低いことが知られている⁷⁾。そこで、カルシウムアルミネートを主原料として活用することで、短時間に防草に効果を発揮し、強度発現性が高められれば、低 pH を示す防草材が実現できる可能性がある。

本報では、セメント系防草材とマグネシウム系防草材とカルシウムアルミネート系防草材につき基礎性状を確認するとともに、暴露試験によって防草効果を確認したので報告する。

*1 デンカ (株) 青海工場 セメント・特混研究部 工修 (正会員)

*2 デンカ (株) 青海工場 セメント・特混研究部

*2 デンカ (株) 青海工場 セメント・特混研究部 グループリーダー 工修 (正会員)

*3 デンカ (株) 青海工場 セメント・特混研究部 部長 工博 (正会員)

2. 実験概要

2.1 使用材料と調合

本実験で使用した材料を表 - 1, 配合を表 - 2 に示した。

セメント系防草材(以下, OPC 系と称す)は普通ポルトランドセメントと石灰砂を混合したもの, マグネシア系防草材(以下, MgO 系と称す)は酸化マグネシウムと無水石膏にまさ土を混合したもの, カルシウムアルミネート系防草材(以下, CA 系と称す)は, 非晶質カルシウムアルミネート (Ca/Al =0.86) と無水石膏とカルシウムシリケート (Ca/Si =0.5) に砂を混合したものを使用した。また, 骨材は絶乾状態で使用し, 結合材と骨材もしくは粘土との比率は 1 : 4 とした。

2.2 供試体作製方法

本試験に使用する試験体の作成には水との練り混ぜ作業を実施せず, 型枠に一定量の防草材を詰めた後, その上面から水を均一に散水し, 固化させ供試体を作製した。

2.3 試験項目

表 - 3 に, 試験項目と測定した防草材の種類と測定材齢を示す。

(1) 硬化時間

各防草材の供試体を作製後, 供試体表面を指で押し凹まない時間を簡易的に硬化時間とし測定した。なお, 供試体の作製, 硬化時間の測定は室温 20℃にて実施した。

(2) 圧縮強度

防草材の効果を評価する指標として, 圧縮強度を測定した。既往の研究により, 材料強度が一定値以上であると植物の成長を抑制できることが報告されている。例えば Taylor らは圧縮強度が 0.5 N/mm² 以上で根の伸長が抑制され, 2 N/mm² 以上で根の伸長が停止すると報告して

いる⁸⁾。また佐藤らは圧縮強度が 4 N/mm² 以上であると茎部の伸長が抑制され, 生育が抑制されることを報告している⁹⁾。すなわち, 防草固化材が 4 N/mm² 以上の圧縮強度を発現した時点で高い防草効果が発揮されると期待される。

JIS R 5201:2015「セメントの物理試験方法」に準拠し 40×40×160mm の角柱型枠に, 結合材と細骨材もしくは粘土を混合した各種防草材 1340 g を敷き詰めたのち, 水 67 ml を型枠上面から均一に散水した。散水から 1 日後後に脱型し, 材齢 1 日, 7 日, 28 日経過時点での圧縮強度を測定した。また, 材齢経過したときに, 硬化していない場合は硬化後に脱型し, そのときの強度を測定した。

表 - 1 使用した材料

材料	記号	種類及び物性値
結合材	OPC	普通ポルトランドセメント 密度 : 3.14 g/cm ³
	MgO	酸化マグネシウム 密度 : 3.58 g/cm ³
	CA	非晶質カルシウムアルミネート 密度 : 2.90 g/cm ³
	CS	カルシウムシリケート 密度 : 2.90 g/cm ³
混和材	A	無水石膏, 密度 : 2.95 g/cm ³
骨材	S1	石灰石, 表乾密度 : 2.72 g/cm ³
	S2	まさ土 表乾密度 : 1.34 g/cm ³
	S3	姫川砂 表乾密度 : 2.64 g/cm ³

表 - 2 防草材の配合

防草材	結合材				混和材	骨材		
	OPC	MgO	CA	CS	A	S1	S2	S3
OPC 系	200					800		
MgO 系		197			3		800	
CA 系			96	64	40			800

表 - 3 防草材の評価項目

実験 No.	試験項目	対象防草材	材齢
1	硬化時間	OPC 系, MgO 系, CA 系	
2	圧縮強度	OPC 系, MgO 系, CA 系	1, 6, 24 時間
3	表面透水係数	OPC 系, CA 系	3 日
4	材料表面温度	OPC 系, CA 系	
5	溶出 pH	OPC 系, MgO 系, CA 系	28 日
6	重金属の溶出成分	CA 系	
7	実環境での暴露試験	OPC 系, MgO 系, CA 系	1 年

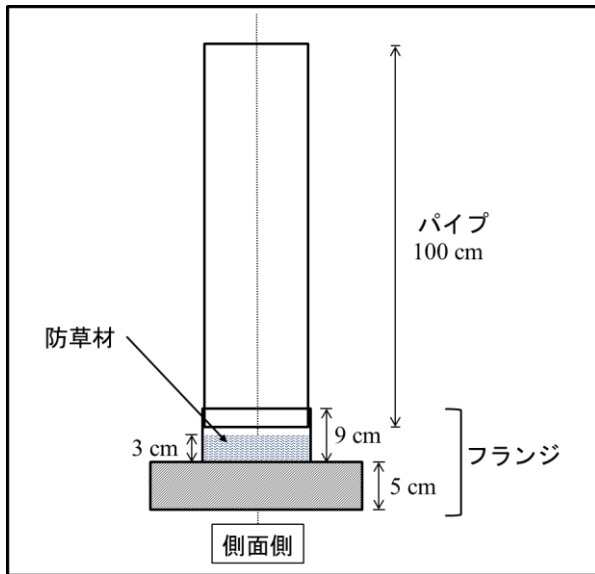


図 - 1 透水試験器

(3) 表面透水試験

舗装性能評価法雨水浸透に関する性能指標(日本道路協会)の基準に準拠し、フランジ(内径 90 mm)の底面に 20℃で 3 日間気中養生させた試験体を作製した。その後、図-1 に示すように塩化ビニル製のパイプを高さ 100 cm になるよう切り出し、予め作成した試験体と接合させることで透水試験器を製作した。パイプ内部を水道水で満たし、10 分間透水させた後、再度同様に透水させたときの水の流出量を計測し式(1)から透水係数(K)を求めた。

$$K = \frac{h/P}{Q/A} \quad (1)$$

K: 透水係数 (cm/sec) Q: 流出量 (cc/sec)
h: 試験体の高さ (cm) A: 試験体の断面積 (cm²)
P: 水圧 (kgf/cm²)

(4) 施工表面温度

屋外で CA 系防草材 80 kg を地面から厚さ 3 cm 程度になるよう均一に均し、上面から水を 12 L 均一に散水することで 2 m²の試験面を作製した。材齢 1 ヶ月後、防草材表面、隣接するアスファルト表面及び土壌表面に熱電対を接触させ、表面温度を測定した。

(5) 溶出液の pH

(2)に示す圧縮強度試験方法で作製した供試体を材齢 1 日後脱型し、7 日間気乾養生した。その後、環境庁告示 13 号に示された溶出試験法に準拠し、それぞれの防草材の溶出液の pH を測定した。

(6) 重金属の溶出成分の調査

(2)に示す圧縮強度試験方法で作製した供試体を材齢 1 日後脱型し、7 日間気乾養生した。その後、環境庁告示

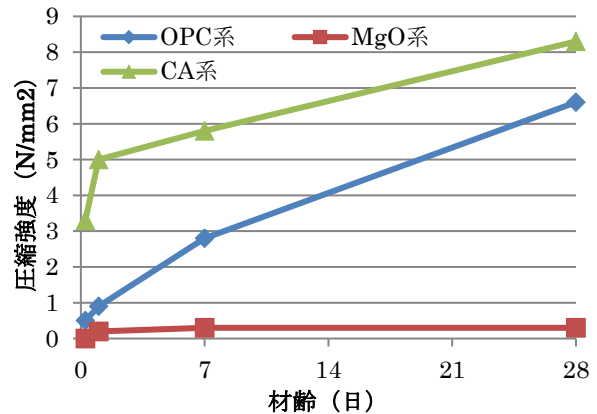


図 - 2 各種防草材の硬化時間

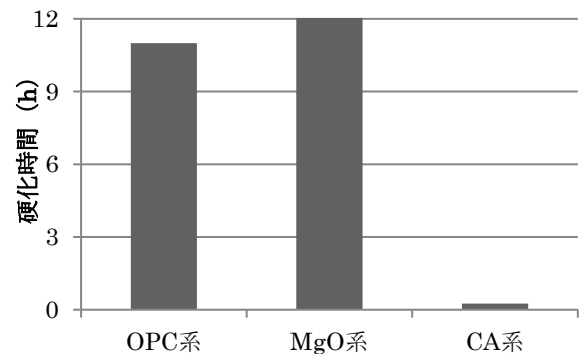


図 - 3 各種防草材の圧縮強度の推移

46 号に示された溶出試験法に準拠し、六価クロムを含む環境基準物質の量を調査した。

(7) 実環境での防草効果の検証

屋外の雑草が生い茂る土壌を対象に試験を実施した。土壌面から生えている雑草を根元から 1 cm 以内の長さになるように除去し、防草材の厚みが 3 cm になるように 1 m²の正方形状になるよう各防草材を 40kg 敷き詰め、上面から 6 L の水を均一に散水し固化させた。その後、材齢が 1 年半経過するまでの雑草の発生状況と防草材の状態を観察した。

3. 実験結果

3.1 硬化時間

結果を図-2 に示した。OPC 系は硬化に 11 時間を要したが、CA 系は 18 分で硬化した。一方で MgO 系は硬化が遅く、散水から 30 時間経過後も硬化することはなかった。

3.2 圧縮強度

図-3 に、各防草材の圧縮強度の材齢変化の結果を示した。ここで、4 N/mm²を発現する材齢を見ると、CA 系では材齢 6 時間で 3 N/mm²を超え、材齢 1 日の時点で約 5 N/mm²の圧縮強度を発現している。これに対して、従来

表 - 4 OPC 系と CA 系防草材の透水係数

材料名	透水係数(m/sec)
一般コンクリート*	4.2×10^{-12}
CA 系防草材	9.4×10^{-3}

*水比60%のOPCを用いたコンクリート材料¹¹⁾

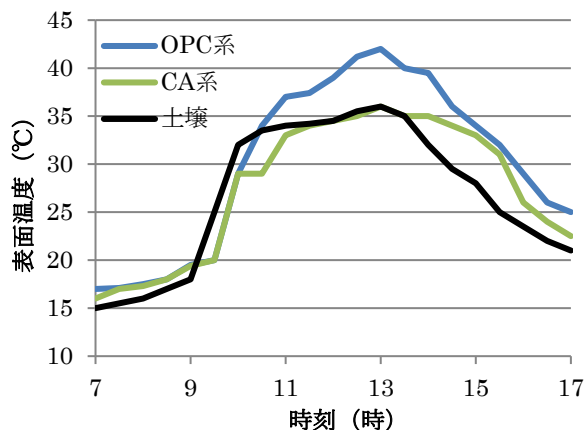


図 - 4 夏場における土壌と防草材の表面温度

の防草固化材である OPC 系では材齢 7 日が経過しても 3 N/mm² 未満で 4 N/mm² に届いておらず、14 日程度を要すると推測される結果である。また、MgO 系については、材齢 28 日が経過しても 1 N/mm² 未満であり、防草効果を発揮する 4 N/mm² を発現するには非常に長い材齢を要すると予想された。

3.3 透水性

CA 系防草材の透水性を確認した。透水性が低い場合、雨水が凹み部分に長く残留し、水捌けが悪い。本試験では CA 系防草材の透水性を評価した。その結果を表 - 4 に示した。一般的にコンクリート材料は粘性土と同程度の非常に低い透水性を示すことが報告されている¹⁰⁾。一方で、CA 系防草材は砂や礫と同程度の高い透水性を示すことがわかった。

3.4 施工表面温度

CA 系防草材は高い透水性をもつことから、固化材内部に水分を吸収・保湿し、気温の上昇にともなって保湿した水分が蒸発する際に蒸発潜熱が生じるため、材料表面の温度を抑えることができると想定された。新潟県糸魚川市において 9 月に表面温度を測定した。図 - 4 に防草材と土壌の測定結果を示す。実験日の最高気温は 33.5°C であり、OPC 系防草材では最高表面温度は 43°C に到達した。一方で、土及び CA 系防草材では 35°C までで温度上昇が抑制されていることがわかる。この結果から、CA 系防草材は地表面温度を低減することがわかる。セメント・コンクリートはヒートアイランド現象を助長するが、CA 系防草固化材は土と同様の挙動を示し、ヒ-

表 - 5 各種防草材の 6 価クロム溶出量

防草材	6 価クロム溶出量(mg/L)
OPC 系	0.08
MgO 系	ND
CA 系	ND

*ND：検出限界以下

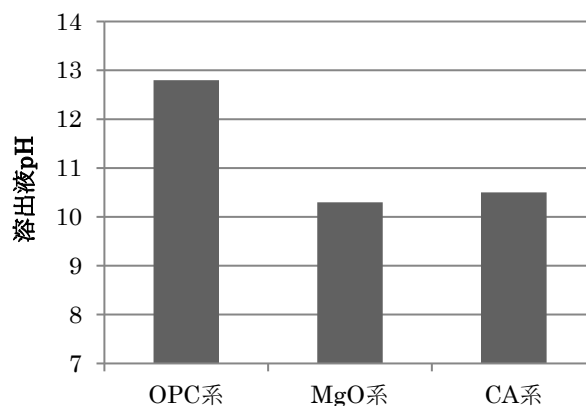


図 - 5 各種防草材の溶出 pH の違い

トアイランド現象への悪影響が少ない材料と言える。

3.5 溶出 pH

図-5 に OPC 系、MgO 系、CA 系防草材の溶出液の pH を測定した結果を示した。OPC 系の溶出 pH は 13 に近い高アルカリ性を示していた。これはセメントの水和生成物である水酸化カルシウムの pH に依存した結果と考えられる。一方で、MgO 系や CA 系防草材の溶出液の pH は 10~10.5 程度の弱アルカリを示すことがわかった。MgO 系では水酸化マグネシウムの pH に依存した結果であり、カルシウムアルミネート系では、エトリンガイトやカルシウムアルミネート系水和物の pH に依存した結果と考える。既往の研究も実験結果を支持している¹¹⁾。また、土壌が高アルカリ性であると、植物の成長に影響を与えることが報告されており¹²⁾、溶出 pH が比較的低い MgO 系、CA 系防草材は施工場所周辺の植物に対する影響は少ないと考えられる。このため、植栽マスの雑草防止に有効である。植栽マスでは、植樹への植害がなく、一方で雑草を抑止する防草固化材が求められている。

3.6 重金属の溶出量

セメントを含有する材料の場合、セメント原料を由来とした六価クロムやセシウムなどの重金属の溶出問題が伴う。特に、防草材としての利用法では体積に対して表面積が著しく大きくなり、雨水等の影響を考えれば溶出量は見逃せない量となる可能性がある。また、自然環境中での利用等で重金属による実害が懸念させる場所への適用が多いことも挙げられる。各防草材の 6 価クロム溶

出量の測定結果を表 - 5 に示した。セメント系材料において六価クロムが検出された。一方、CA 系防草材では六価クロム量は検出限界を下回ることがわかった。この結果は、測定材齢時ではセメント水和物が十分に発達していないことに起因すると考えられる。そのため材齢が経過することで、セメント系材料でも六価クロム溶出量は抑制されると考えられる¹³⁾。また、環境基準物質¹⁴⁾に指定された物質群に検出されるものはなかった。特に、CA 系では鉛等の重金属やベンゼン等の化学物質の含有量は環境庁告示 46 号で指定された基準量を下回ることが明らかとなった。

3.7 実環境での暴露試験

防草材の圧縮強度の結果から、CA 系防草材は高い防草効果を示すことが期待できる。そこで、実際の環境においての防草効果を評価することを試みた。試験には、雑草が十分に成長している畑地を対象とした。草刈り機を用いて、雑草を十分に処理したのち、図 - 6 に示すように、防草材を敷設し、防草効果を試験した。1 年半経過後の各防草材の状態を図 - 7, 8, 9 に示した。材料表面の状態を材齢に伴い確認したところ、MgO 系材料では施工から 3 ヶ月で雑草が発生している。これは、図 - 3 で示した圧縮強度の結果とも一致する。すなわち、MgO 系防草固化材は防草効果を発揮する強度を発現するのに長い材齢を要するため、その間に降雨や風雪に曝されたりすることで、固化材が損耗して本来の防草効果が発揮できない可能性がある。一方で OPC 系、CA 系材

料では 1 年半が経過後も防草効果が維持されていることが分かった。OPC 系や CA 系は早期に防草効果を発揮する強度 (4 N/mm^2) を発現することから、防草固化材の早期強度と防草効果は密接に関連することが暴露試験からも示唆された。一方で、防草材により土壌表面が固化体で覆われることで、土壌から土の風合いが失われる課題があり、今後の検討課題であると考えられる。

4. まとめ

カルシウムアルミネートを主成分とする防草固化材を開発し、その基礎物性と防草効果について検討し、以下の知見を得た。

- 1) CA 系防草材は散水から 18 分で硬化し、材齢 6 時間で 3 N/mm^2 を超え、材齢 1 日で OPC 系に比べ約 5 倍の圧縮強度を有することがわかった。
- 2) CA 系防草材は一般的なコンクリートと比べ、高い透水係数を有しており、夏場でも材料の表面温度は土と同程度までしか上昇しないことがわかった。
- 3) CA 系防草材は、OPC 系防草材よりも溶出 pH は低く、MgO 系防草材と同等であった。また、六価クロムの溶出も検出限界以下であった。
- 4) OPC 系、CA 系防草材は材齢 1 年半が経過後も防草効果を保持していた。OPC 系や CA 系は早期に防草効果を発揮する強度 (4 N/mm^2) を発現することから、防草固化材の早期強度と防草効果は密接に関連することが暴露試験からも示唆された。



図 - 6 施工前の土壌の様子



図 - 7 OPC 系防草材 (材齢 1.5 年)



図 - 8 MgO 系防草材 (材齢 1.5 年)



図 - 9 CA 系防草材 (材齢 1.5 年)

参考文献

- 1) 千坂英雄：水稻と雑草の競争，雑草研究，Vol.1966，No.5，pp.16-22，2009.12
- 2) 植木邦和，中村弘，小野宏：宿根性雑草ハマスゲの防除に関する基礎研究 Tuber の発芽と温度ならびに湿度との関係，雑草研究，Vol.1965，No.4，pp.61-67，2009.12
- 3) 片岡孝義，金昭年：数種雑草種子の休眠覚醒の貯蔵条件による差異，雑草研究，Vol.1977，No.4，pp.61-67，2009.12
- 4) 古原洋，山下英雄，山崎信弘：北海道における水田雑草ミズアオイのスルホニルウレア系除草剤抵抗性." 雑草研究 別号講演会講演要旨，vol.110，pp.236-237. 1996.
- 5) 藤森新作，小堀茂次：自然環境にやさしい土壌硬化剤マグホワイトの開発，農業土木学会誌，vol.68，No.12，pp.1297-1300，2011.8.
- 6) 笠井芳夫，坂井悦郎編：新 セメント・コンクリート用混和材料，技術書院，2007
- 7) Atkins, M. , Glasser, F.P. and Kindness, A. : Cement Hydrate Phases -Solubility at 25°C, Cement andConcrete Research, Vol.22, Issues 2-3, pp.241-246 ,1992
- 8) TAYLOR, H . M. and BURNETT, E. : Influence of soil strength on root-growth habjts of plants. SoilSci. , vol.98, pp.174~180, 1964.
- 9) 佐藤泰一郎，鈴木哲也，中野政詩：根を模したピソペネトロメータによる土壌硬度との貫入について，日本土壌肥料学雑誌，vol.68，No.6，pp.674-679，1997.
- 10) 村田二郎：コンクリートの水密性の研究，土木学会論文集，Vol.1961，No.77，pp.69-103，2010.2.
- 11) 岡本紘典，前中久行：都市緑化からみたコンクリートによる土壌アルカリ化に関する研究，日本緑化工学会誌 ， Vol.33，No.1，pp.146-151，2007.
- 12) 田中淳，瀬瀬裕美，大藪崇司，藤原道郎，田中賢治，朝日信彦，杉浦弘毅：土壌化学性の違いによるナルトサワギク，セイタカアワダチソウの防除技術の開発，日本緑化工学会誌，Vol.37，No.1，pp.139-142，2011.
- 13) 細谷俊夫：セメント系固化材と六価クロム，材料，Vol.51，No.8，pp.933-942，2002.
- 14) 環境庁：土壌の汚染に係る環境基準について，環境庁告示 46 号，1991.