

V—23 融氷雪剤による骨材の崩壊機構について

北海道工業大学 正員 土居 繁雄
土居 靖
中山 享尚
成田 忍
高田 純男

1. まえがき

土木建設に用いられている骨材は、河川砂利資源の枯渇にともない、碎石が多く使用されているのが現状である。舗装用骨材も例外ではなく、骨材の多くは碎石を用いている。

最近、車粉の問題が大きくクロズアップされて、スパイクタイヤの使用の全面禁止が可能かどうか社会的に問題になっており、冬期間の路面管理が最大の焦点になっている。

このような現状から、札幌市は今冬から積極的に道路の融氷雪剤の散布実験に本格的にのり出し（北海道新聞、12月18日付）たことが報ぜられている。

一方、筆者の1人である土居は、融氷雪剤の1つである尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ による骨材の崩壊機構について、すでに報告しているが、今回さらに塩化ナトリウム NaCl 、塩化マグネシウム MgCl_2 、エチレングリコール $\text{HO}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$ などの融氷雪剤によっても、骨材の岩質によっては、崩壊現象が起きることが明らかになった。

2. 実験に用いた骨材の岩石学的性質

融氷雪剤と骨材の化学反応実験に用いた骨材の岩石学的性質は、第1表に示したようなものである。

これらの骨材のうち、融氷雪剤によって崩壊をおこす骨材は試料番号3の角閃石石英安山岩、試料番号7の紫蘇輝石普通輝石安山岩、試料番号16の角閃石石英安山岩および試料番号21の紫蘇輝石普通輝石安山岩の各骨材である。これら4つの骨材資料は、斑晶鉱物とくに斜長石、輝石類はモンモリロン石化作用をうけて一部または全部がモンモリロン石で置換されているほか、石基もモンモリロン石で交代されている。このため岩石の組織は判然としないものが多い。

一方、融氷雪剤によって崩壊をおこさない骨材は試料番号5の紫蘇輝石普通輝石安山岩、試料番号14の普通輝石紫蘇輝石安山岩、試料番号20の含石英普通輝石紫蘇輝石安山岩および試料番号22の普通輝石紫蘇輝石安山岩である。これらの4つの骨材資料は、斑晶鉱物および石基とも変質作用をうけておらず、しかもモンモリロン石化作用はあってもきわめて微弱であり、斑状構造またはハイアロピリテック構造などが明瞭にみられるものである。

融氷雪剤による骨材の崩壊は、骨材の岩石の種類に関係なく、岩石のうけている変質作用とくにモンモリロン石化作用をうけた度合、つまり2次的にモンモリロン石が生成されている量が多いほど崩壊現象をおこしやすいといえることができる。

この事実は、あとののべるX線回析による検討結果とも一致する。

3. 融氷雪剤による骨材の崩壊現象

融氷雪剤は塩化ナトリウム NaCl の飽和溶液（26.38%）、塩化マグネシウム MgCl_2 の30%溶液、塩化カルシウム CaCl_2 の30%溶液、エチレングリコール $\text{HO}(\text{CH}_2)_2\text{OH}$ の30%溶液および尿素 $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ の30%溶液を使用した。

骨材は直径2.970cmの円形の厚さ1.0mm～2.0mmに整形したものを、のべた融氷雪剤の各溶液に浸し、その変

第1表 実験に使用した骨材の岩石学的性質一覧

試料番号	3	5	7	14
地質年代	第三紀中新世後期	新第三紀中新世中期	第三紀中新世後期	第三紀-第四紀
岩石名	角閃石石英安山岩	紫蘇輝石普通輝石安山岩	紫蘇輝石普通輝石安山岩	普通輝石紫蘇輝石安山岩
岩石組織	斑状構造	斑状構造	斑状構造	ハイアロピリチック構造
斑晶鉱物	a, 斜長石 b, 普通輝石 c, 角閃石	a, 斜長石 b, 有色鉱物(輝石類)	a, 斜長石 b, 普通輝石 c, 紫蘇輝石	a, 斜長石 b, 紫蘇輝石 c, 普通輝石
石基鉱物	粒状の石英, 斜長石, 粒状の輝石	ガラス, 微小短柱状斜長石	ガラス, 微小短柱状斜長石, 及び針状斜長石	ガラス, 微小短柱状斜長石
変質鉱物	a, 炭酸塩鉱物化, 緑泥石化, モンモリロン石化, b, 炭酸塩鉱物化, 部分的に緑泥石化, モンモリロン石化 c, 炭酸塩鉱物化, 緑泥石化, 石基の輝石-緑泥石化, モンモリロン石化	a, 炭酸塩鉱物化 b, 炭酸塩鉱物化 緑泥石化, 石基, 緑泥石化	a, 部分的にモンモリロン石化 b, c, 磁鉄鉱で交代	a, 炭酸塩鉱物化 b, c, 少量モンモリロン石化, 緑泥石化 石基のガラス-モンモリロン石化
試料番号	16	20	21	22
地質年代	新第三紀中新世後期	新第三紀中新世後期	新第三紀中新世中期	第三紀-第四紀
岩石名	角閃石石英安山岩	含石英普通輝石紫蘇輝石安山岩	紫蘇輝石普通輝石安山岩	普通輝石紫蘇輝石安山岩
岩石組織	斑状構造	斑状構造	斑状構造	斑状構造
斑晶鉱物	a, 斜長石 b, 普通輝石 c, 紫蘇輝石 d, 石英 e, 角閃石	a, 斜長石 b, 紫蘇輝石 c, 普通輝石	a, 斜長石 b, 普通輝石 c, 紫蘇輝石	a, 斜長石 b, 紫蘇輝石 c, 普通輝石
石基鉱物	微小斜長石 及び 石英	ガラス 微小短柱状斜長石	ガラス 微小短柱状斜長石	ガラス, 微小短柱状斜長石
変質鉱物	a, 炭酸塩鉱物化 b, c, 炭酸塩鉱物化 モンモリロン石化 緑石化	b, c, 緑泥化 石基-少量モンモリロン石生成	a, b, c, 炭酸塩鉱物化 緑泥石化 石基-緑泥石・モンモリロン石生成	石基-少量モンモリロン石化

化を観察した。

骨材の崩壊現象は大きくみると、2つの現象がみられる。1つは骨材に割れ目が形成され、さらに細な割れ目が発達して崩壊する型と、他の1つは骨材の周縁部から粒状に崩壊する型である。前者の型は斑晶鉱物が少なく石基が細粒の、斜長石、輝石類およびガラス、とくにガラスの多い岩石にみられる。また、後者は斑晶鉱物が多く、しかも結晶粒が大きく、石基の量が少ない組織の岩石にみられるという傾向がある。

さらに、塩化ナトリウム、塩化マグネシウムおよび塩化カルシウムの各溶液による骨材の崩壊反応は、き

わめて微弱であるが、尿素およびエチレングリコールの各溶液による骨材の崩壊反応は、きわめて顕著である。この事実は無機溶剤は有機溶剤にくらべて、骨材の崩壊反応は弱いといえることができる。

4. X線回折による検討

実験に用いた骨材の原岩にふくまれているモンモリロン石のX線回折による格子面間隔 d (001) の値は、第2表に示したとおりである。

とくに、融冰雪剤によって崩壊をおこした試料番号3の角閃石石英安山岩、試料番号16の角閃石石英安山岩と、融冰雪剤によって全く崩壊をおこさない試料番号5の紫蘇輝石普通輝石安山岩、およびわずかに崩壊現象のみられる試料番号22の普通輝石紫蘇輝石安山岩について、説明を加えることにする。

まず試料番号3の角閃石石英安山岩のX線回折では、モンモリロン石、角閃石、石英、緑泥石、斜長石および輝石がみとめられ、モンモリロン石の格子面間隔 d (001) の値は $14.980\text{\AA}$ である(第2表および第1図)。

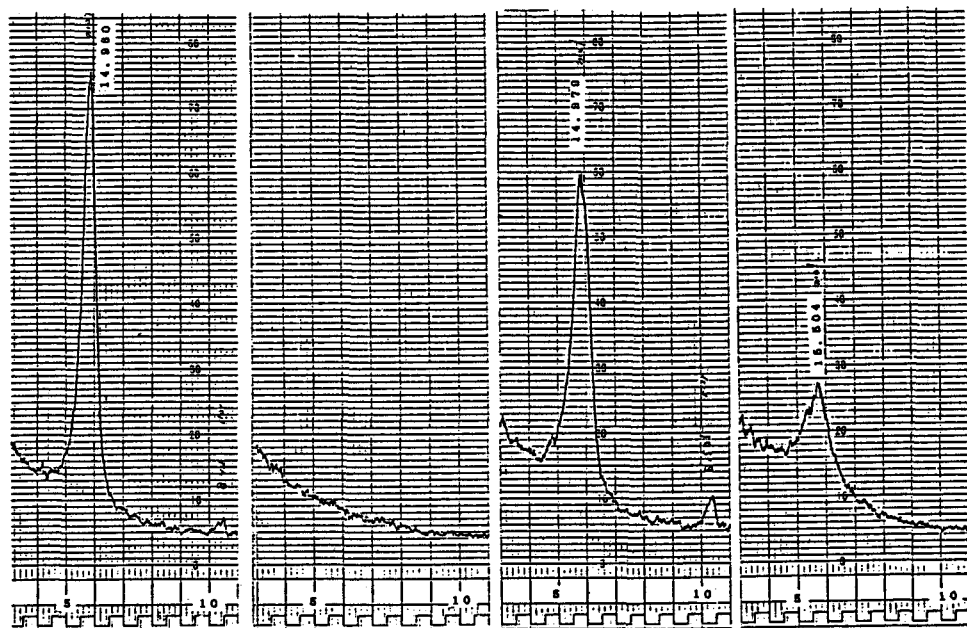
試料番号16の角閃石石英安山岩のX線回折では、前にのべた試料番号3と同じように、モンモリロン石、角閃石、緑泥石、斜長石、輝石および石英がみられ、モンモリロン石の格子面間隔 d (001) は $14.979\text{\AA}$ である(第2表および第3図)。

第2表 X線回折によるモンモリロン石の格子面間隔 d (001) ($\text{\AA}$)

試料番号	3	5	7	14	16	20	21	22
原 岩	14.980	——	15.504	15.504	14.979	15.504	15.781	15.504
NaCl treat,	a	12.980	——	12.849 (15.895)	12.718	14.074	13.153	13.598
	b	(15.290)	(——)	(17.673)	(16.365)	(15.725)	(20.174)	(19.378)
MgCl ₂ treat,	a	12.627	——	12.363	——	13.810	12.627	——
	b	(14.979)	(——)	(——)	(——)	(18.219)	(20.081)	(——)
CaCl ₂ treat,	a	14.730	——	14.851	15.725	14.904	15.237	15.866
	b	(18.642)	(——)	(19.946)	(——)	(19.636)	(19.636)	(20.790)
CO(NH ₂) ₂ treat,	a	(23.374)	(——)	(19.946)	(——)	(19.636)	(19.636)	(20.790)
	b	14.729	16.067	15.237	14.979	14.729	15.237	15.504
HO(CH ₂) ₂ OH	a	(18.800)	(18.800)	(19.637)	(25.251)	(19.002)	(22.089)	(——)
	b	(18.800)	(18.800)	(19.637)	(25.251)	(19.002)	(22.089)	(——)
CO(NH ₂) ₂ treat,	a	15.107	14.488	15.504	15.504	15.237	15.504	15.781
	b	(15.504)	(——)	(19.209)	(18.033)	(18.409)	(19.209)	(20.081)
HO(CH ₂) ₂ OH	a	(18.800)	(——)	(19.209)	(18.033)	(18.409)	(19.209)	(20.081)
	b	14.979	——	15.369	15.504	14.979	15.504	16.365
CO(NH ₂) ₂ treat,	a	(15.369)	(——)	(19.209)	(——)	(18.409)	(19.209)	(20.081)
	b	(19.209)	(18.800)	(19.209)	(——)	(18.409)	(19.209)	(20.081)
HO(CH ₂) ₂ OH	a	(19.209)	(18.800)	(19.209)	(——)	(18.409)	(19.209)	(20.081)
	b	(19.209)	(18.800)	(19.209)	(——)	(18.409)	(19.209)	(20.081)
CO(NH ₂) ₂ treat,	a	14.608	——	14.370	——	14.488	15.641	——
	b	(18.800)	(——)	(19.209)	(20.548)	(——)	(19.635)	(——)
HO(CH ₂) ₂ OH	a	14.488	14.979	14.979	15.237	14.729	14.979	14.255
	b	(18.409)	(15.237)	(19.635)	(19.002)	(18.502)	(——)	(19.209)

注) ()内、湿润状態 a, 10月14日-11月14日(31日間)

b, 10月14日-12月14日(61日間)



第1図 No.3角閃石石英安山岩 中のモンモリロン石の X線回折によるd(001) 第2図 No.5紫蘇輝石普通輝石 安山岩の X線回折 によるd(001) 第3図 No.16角閃石石英安山岩 中のモンモリロン石の X線回折によるd(001) 第4図 No.22普通輝石紫蘇輝石 安山岩の X線回折 によるd(001)

また、融冰雪剤によって全く崩壊をおこさない試料番号5の紫蘇輝石普通輝石安山岩のX線回折では、斜長石、トリヂマイト、輝石および石英がみつめられ、モンモリロン石の存在はみつめられない（第2表および第2図）。

さらに融冰雪剤によって、わずかに崩壊現象のにとめられる試料番号22の普通輝石紫蘇輝石安山岩のX線回折では、モンモリロン石、斜長石、トリヂマイト、輝石および石英がみつめられ、モンモリロン石の格子面間隔 $d(001)$ の値は15.504Åである（第2表および第4図）。

これらの4つの骨材試料のうち、モンモリロン石のふくまれている量が多いのは試料番号3の角閃石石英安山岩で、次いで試料番号16の角閃石石英安山岩、モンモリロン石のふくまれている量が少ないのは試料番号22の普通輝石紫蘇輝石安山岩、全くモンモリロン石がふくまれていないのは試料番号5の紫蘇輝石普通輝石安山岩である。このことは第1図～第4図のX線回折図から、明らかによみとることができる。

以上のべた骨材試料の中の、最も多量のモンモリロン石をふくむ試料番号3の角閃石石英安山岩を、塩化ナトリウムの飽和溶液（26.38%）、塩化マグネシウム溶液（30%）、塩化カルシウム溶液（30%）の各溶液に浸して1ヶ月経過後のモンモリロン石の格子面間隔 $d(001)$ の変化と、尿素溶液（30%）およびエチレンジリコール溶液（30%）に浸して2ヶ月経過後のモンモリロン石の格子面間隔 $d(001)$ の変化について検討することにする。

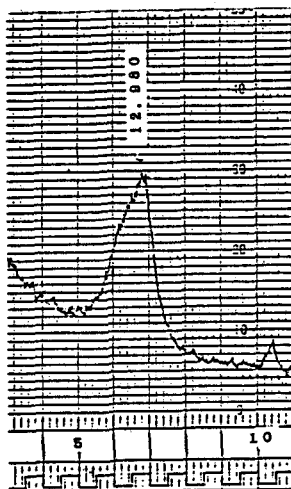
第2表および第5図に示したように、塩化ナトリウムの飽和溶液に浸して1ヶ月経過後の、乾燥状態におけるモンモリロン石の格子面間隔 $d(001)$ は12.980Åになり、骨材の原石にふくまれているモンモリロン石の格子面間隔 $d(001)$ の14.980Åよりも小さな値をしめして、格子面間隔は約13.4%縮小したことになる。また、湿潤状態におけるモンモリロン石の格子面間隔 $d(001)$ は、第2表および第6図に示したように15.290Åであって、原岩にふくまれているモンモリロン石の格子面間隔よりも約2%拡大している。

塩化マグネシウム溶液（30%）に浸して1ヶ月経過後の、乾燥状態におけるモンモリロン石の格子面間隔

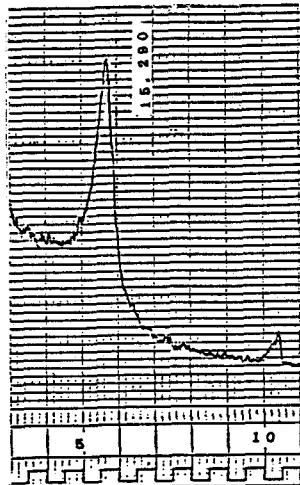
d (001) は、第2表および第7図に示したように14.730Åであって、原岩にふくまれているモンモリロン石の格子面間隔d (001) の14.980Åとほとんど同じ値である。ところが湿潤状態におけるモンモリロン石の格子面間隔d (001) は、第2表および第8図に示したように、18.642Åと23.374Åという大きな値を示し、原岩にふくまれているモンモリロン石の格子面間隔よりも、約25%から58%も拡大されている。

塩化カルシウム溶液 (30%) に浸して1ヶ月経過後の、乾燥状態におけるモンモリロン石の格子面間隔d (001) は、第2表および第9図に示してあるように、15.107Åという値を示し、原岩にふくまれているモンモリロン石の格子面間隔d (001) の14.980Åの値と、ほぼ同じ値を示している。しかし湿潤状態におけるモンモリロン石の格子面間隔d (001) は15.504Åまたは18.800Åとなり、原岩にふくまれているモンモリロン石の格子面間隔よりも、約2.6%から26%拡大している。

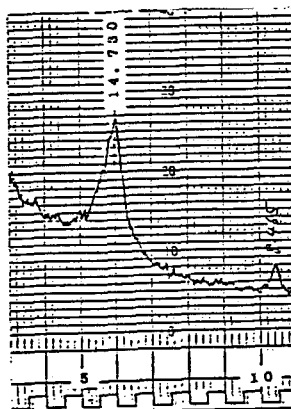
一方、尿素溶液 (30%) に浸して2ヶ月経過後の、乾燥状態におけるモンモリロン石の格子面間隔d (001) は、第2表に示したように14.608Åで、原岩にふくまれているモンモリロン石の格子面間隔d (001) の14.980Åと、ほぼ同じ値を示している。しかし湿潤状態におけるモンモリロン石の格子面間隔d (001) は18.800Åの大きな値を示し、原岩にふくまれているモンモリロン石の格子面間隔にくらべて、約25.5%も拡大している。また、エチレングリコール溶液 (30%) に浸して2ヶ月経過後の、乾燥状態におけるモンモリロン石の格子面間隔d (001) は、第2表に示したように、14.488Åであって、原岩にふくまれているモンモリロン石の格子面間隔d (001) の14.980Åにくらべてわずかに縮小している。ところが湿潤状態におけるモンモリロン石の格子面間隔d (001) は18.409Åとなり、原岩にふくまれているモンモリロン石の格子面間隔に



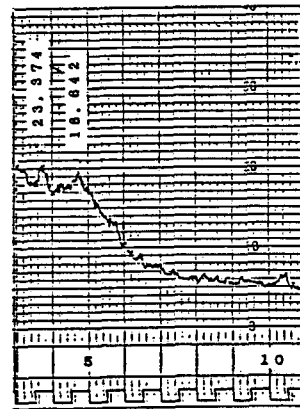
第5図 No.3塩化ナトリウム溶液 (飽和溶液) 処理1ヶ月後の乾燥状態におけるX線回折によるd(001)



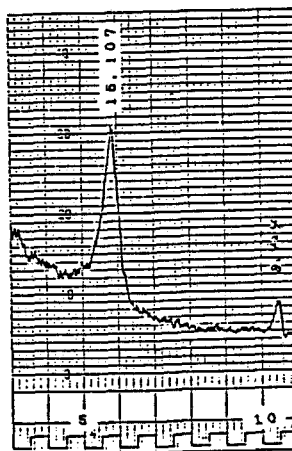
第6図 No.3塩化ナトリウム溶液 (飽和溶液) 処理1ヶ月後の湿潤状態におけるX線回折によるd(001)



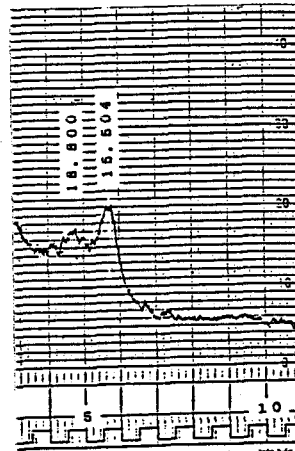
第7図 No.3塩化マグネシウム溶液 (30%) 処理1ヶ月後の乾燥状態におけるX線回折によるd(001)



第8図 No.3塩化マグネシウム溶液 (30%) 処理1ヶ月後の湿潤状態におけるX線回折によるd(001)



第9図 No.3塩化カルシウム溶液 (30%) 処理1ヶ月後の乾燥状態におけるX線回折によるd(001)



第10図 No.3塩化カルシウム溶液 (30%) 処理1ヶ月後の湿潤状態におけるX線回折によるd(001)

くらべて、湿潤状態におけるモンモリロン石の格子面間隔は、約23%拡大している。

以上、試料番号3の角閃石石英安山岩を具体的な例にとりあげ、塩化ナトリウム、塩化マグネシウム、塩化カルシウム、尿素およびエチレングリコールなど、融冰雪剤の溶液に浸した1ヶ月経過ないし2ヶ月経過後の、乾燥状態と湿潤状態における、骨材中にふくまれているモンモリロン石の格子面間隔 $d(001)$ の変化について説明した。試料番号5の紫蘇輝石普通輝石安山岩は別として、融冰雪剤の溶液によって崩壊現象がみられる試料番号16の角閃石石英安山岩および試料番号22の紫蘇輝石普通輝石安山岩についても、第2表に示してあるように、同じような傾向がみられる。

ただ特ちょう的なことは、塩化ナトリウム溶液の飽和溶液に浸して1ヶ月経過後の各骨材碎石資料の、乾燥状態におけるモンモリロン石の格子面間隔が、いずれも原岩にふくまれているモンモリロン石の格子面間隔よりも縮小していることである。

これはモンモリロン石の格子面の間（層間）にナトリウムイオンが吸着され、もともと格子面の間にあった水分子と交代して、水分子が格子面の間の外にでることによっておきる現象と思われる。

5. まとめ

融冰雪剤の溶液によって崩壊現象をおこす骨材（碎石）は、原石の鉱物組成、とくに変質鉱物からみると、モンモリロン石化作用をうけて、モンモリロン石を多量に生成されている骨材（碎石）ほど崩壊しやすいといえる。

融冰雪剤の溶液による骨材（碎石）の崩壊現象は、塩化ナトリウム、塩化マグネシウムおよび塩化カルシウムなどの溶液による崩壊は微弱であるが、エチレングリコールおよび尿素などの溶液による崩壊は顕著で反応速度も速いのが特ちょうである。

また融冰雪剤の溶液による骨材（碎石）の崩壊機構は、骨材（碎石）にふくまれている変質鉱物のモンモリロン石が、格子面の間（層間）に融冰雪剤の溶液を吸着して、格子面間隔 $d(001)$ を拡大して、モンモリロン石の堆積が膨張することによって、岩石を破壊することによるものである。つまり、融冰雪剤の溶液による骨材（碎石）の崩壊は、骨材（碎石）の原岩にふくまれている変質粘土鉱物のモンモリロン石の格子面間隔 $d(001)$ が、融冰雪剤の溶液が格子面の間（層間）に侵入することによって拡大され、モンモリロン石の堆積が膨張することによっておきるSwellingによるものである。

参 考 文 献

- 1) 熊谷茂樹、鈴木哲也、山西信雄（1984）；舗装用碎石の膨潤崩壊について、土木試験所月報 No.376
- 2) 土居繁雄（1985）；尿素 $\langle \text{Co}(\text{NH}_2)_2 \rangle$ 溶液による舗装用骨材とくに安山岩質碎石の崩壊機構 土木学会第40回年次学術講演概要集 第5部
- 3) 土居繁雄（1985）；凍結防止剤および融冰雪剤による舗装用骨材の崩壊機構、寒地技術シンポジウム'85講演論文集