

材料に対する寒冷の影響とその試験

正員 北海道大学教授 工学博士 板倉 忠三

正員 北海道大学助教授 菅原 照雄

目次

1. 概説
2. 乳化剤類
3. 車輛エンジン冷却用不凍液
4. 瀝青類
5. 金属
6. ゴムおよびゴム製品
7. 煉瓦
8. 石材
9. 骨材
10. 排水土管
11. 締固められたソイルセメント混合物
12. 参考文献

1. 概説

土木材料および構造物の凍害は、我々寒地における技術者の大きな関心事である。勿論施工はあらゆる場合に重大な要素であるが、材料の抵抗性を判定し、その使用を誤つてはならない。

材料は、温度の低下に伴つてその性質が変わるが、これには次の3種がある。

(1) 単に温度が低下しただけで使用不能になるもの。
——アスファルト乳剤、封緘養生剤および液状 A. E. 剤。これらは温度が低下しなくても長期間貯蔵しただけで使えない場合があるような不安定な製品である。この外、原動機の不凍液、試験機械類の潤滑油、循環油等もこの部類に入る。

(2) 温度が低下すれば性質が変化するが、使用方法によつては些程障碍にならないもの——タール、アスファルト等の瀝青類、鋼鉄等の金属、ゴム類、および木材等。

瀝青、金属、ゴム等は、温度の低下と共に脆弱化し、それぞれ舗装体、施工機械その他の耐久度大きな影響を与え損耗度に拍車を加える。木材も冬季その水分の凍結したものは槌の打撃によつて折損することがある。

(3) 凍結と融解の繰返えしによつて組織を破壊するもの。——煉瓦、石材、砂利、砂、セメント、コンクリー

ト、セメント製品、ソイルセメント等。これらは特に吸水した場合にその影響が大きい。

今これらの性状と標準あるいは在来行われて来た試験方法を述べることにする。

2. 乳化剤類

乳化剤は、微細粒の物質を水の中に懸濁させ、あるいは水分子を物質の微細粒中に混在させて、その物質と水との分離を妨げているが、しかし使用に当つては速やかに分離して、その物質の薄い被膜を形成せしめるものである。従つて極めて不安定な状態にあるから長期の貯蔵には耐えられない。温度が降下すれば不安定度が増加し、水が凍結すれば分離するのは当然で、融解しても恢復し難い。液状 A. E. 剤もこれに準ずる。

今、乳化アスファルトについて、A. S. T. M. 規格: D-244-49 は次の通りである。

この凍結試験は、試料を、各回 12 時間、0° F (−17.8°C) で凍結せしめた時、凝結する傾向の視覚による決定検査である。即ち、約 400 g の乳剤を 1 pt. (0.578 lit.) の押し蓋の錫罐のような清浄な金属製容器に入れ、連続 12 時間 0° F (−17.8°C) の温度に晒らし、凍結期間が終つた時、実験室内の温度 (通常 24°C) で融解させる。この操作を 3 サイクル繰返えす。この際、その乳剤が均質か、あるいは実験室の温度において攪拌しても均質にすることができないような明瞭な層に分離するかを検査する。この試験の結果は、“均質”あるいは“破壊した”と報告し、破壊したものは不合格である。

尚寒冷の影響を受けて凍結する恐れのある場合に限つて行ふ簡単な試験法として次のものがある。冷却温度は、−5°C 以下の適当な低温を選ぶ。試料 15~20 g を試験管に取り、3 時間これを −5°C に冷却した後、次第に室温に戻し、攪拌した場合原乳状に復帰するかを検査する。これは 2 回繰返えすのである。

3. 車輛エンジン冷却用不凍液

液冷式エンジンの場合、冬期間エンジン停止中にその液体が凍結して障碍を及ぼすことがあるので、不凍液を用いることが多い。しかしこの種不凍液も往々にしてそ

の機能を発揮せず、夜間凍結して液槽を破壊し損害を与えることがあつた。これに関して A, B, C の 3 社および混合した製品の濃度を変えて凍結状況を観察し、且つ凍結温度を測定して、判定方法を見出す必要に迫られて行つた実験を述べることとする。

試験の方法——試料は各々 100 cc を採り、試験管中

で凍結させた。温度低下用の冷媒として工業用アルコールにドライアイスを入れたものとし、室内温度は $-15 \sim -20^{\circ}\text{C}$ に保つた。静かに攪拌しながら凍結せしめたものと、静置のまま凍結させたものがある。

試験成績——試験当時 (昭 30. 1) 使用中のものと、新規購入予定のものに分けて述べる。

表—1 エンジン冷却用不凍液の性能試験成績 (1)

A. 当時使用中の不凍液の凍結温度

使用機関	不凍液の銘柄	比重 (15°C)	静止状態で結晶の できる温度 ($^{\circ}\text{C}$)	氷点 ($^{\circ}\text{C}$)
a	A 単 味 50%	1.057	-15	-14
b	濾 過 再 生 38%	1.061	—	-23
c	混 用 65% (新)	1.091	-40°C で凍結を認めない	
d	B 単 味 50%	1.081	同	上
e	不 詳 (旧)	1.086	同	上
f	A, C 混用 再生	1.099	同	上
g	B 単 味 50%	1.073	同	上
h	再生, A 混用 65%	1.079	-40	-30
i	B 単 味 50%	1.081	-40	-32
j	A, B 混 用 65%	1.094	-39	-31
k	A 単 味 65%	1.083	-32	-26
l	不 詳	1.095	-40	-34
m	不 詳 65%	1.098	-40	-37
n	不 詳	1.069	-34	-28
o	B 50%	1.079	-40	-31
p	A, B 混 用 65%	1.079	-38	—
q	不 詳	1.089	-40 で凍結を認めない	
r	再生, 混 用 65%	1.093	-39	-32
s	不 詳	1.068	-33	-24
t	不 詳	1.067	-43	-35

B. 未使用不凍液の各濃度における凍結温度

混 合 率 (容積%)	A 社 製 品			B 社 製 品	
	比 重	氷点 (静置) ($^{\circ}\text{C}$)	氷点 (攪拌凍結) ($^{\circ}\text{C}$)	比 重	氷 点 ($^{\circ}\text{C}$)
40	1.062	-18	-21	1.048	-23
50	1.078	-25	-34	1.060	-36
60	1.093	-31	-43	1.072	-45
70	1.109	-40	-50	1.084	-53
80	1.124	-48	-55^*	1.096	-41
90	1.140	-46	-52^*	1.108	-29
100	1.155	-43^*	-43^*	1.120	-19

注 * は、粘性が大であつて、氷点の確認ができないもの。

B 社製品は、水と親和性があり、攪拌しながら凍結せしめたものと静置したものとが略々同じ値を示すが、

A 社製品は、容易に氷が分離し両社製品の間に大きな差が見られる。

また不凍液は、アルコール性成分が多ければ濃度が大となるに伴つて氷点も下降するのであるが、今回の試験に用いられた不凍液は、70 および 80% 附近が最低凍結温度を示し、それより濃度が大となれば凍結温度が上昇する。これは、塩化カルシウムが混合されていて、その濃度が 30% 前後になることを示している。従つて液槽の防錆を考慮すべきである。

次に、別種の不凍液について表-2 の結果を得た。

表-2 エンジン冷却用不凍液
の性能試験成績 (2)

不凍液含有量(%)	10	20	30	40	50	60
凍結温度 (°C)	-13	-19	-29	-39	-48	-60

この種のものは、アルコール性のものとする
ことができる。

4. 瀝 青 類

瀝青類は、工事用材料として最も温度に敏感である。即ち、常温 (10~25°C 程度) では塑性体であるが、これより高温では粘性体となり更に流体状になる。一方 10~5°C 以下の低温では弾性を伴うと共に甚しく脆性を加へ、氷点下では特にその性質が甚しく、寒冷地における瀝青舗装のタイヤチェーンによるラベリングはこれによるものである。

瀝青類の一般試験は、比重、稠度、感温性、延性、熱に対する性質、可溶成分等に対するもので、延性試験に 5°C の温度が規定されている外はすべて 15~25°C 以上で行われる。低温度における試験には規格はないが、その靱性の検査にはページの衝撃試験が比較的よく性質の変

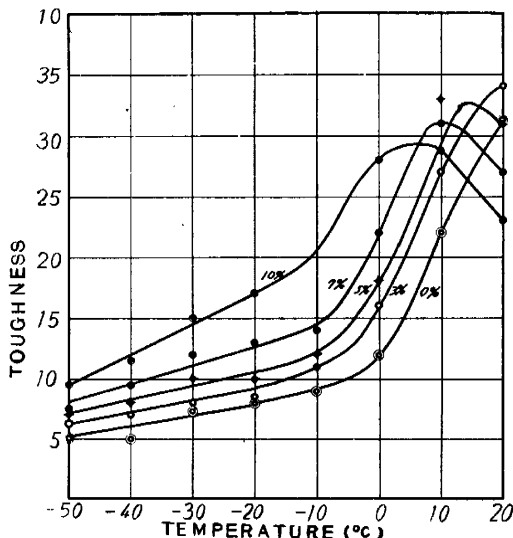


図-1 ゴム粉末混合アスファルト・モルタル
の温度の変化に伴う靱性値の変化

化を示すのでよく用いられる。

北大で行っている試験では、供試体は、35 mm ϕ $\times$ 30 mm で、圧縮して成型した。瀝青単味の場合には、落錘重量を 710 g としなければ結果がよく表われないが、ゴム入り瀝青の場合には標準の 2 kg でよい。試験温度は、30°C から -50°C までで、各温度における靱性値は、アスファルト量 20% 程度の時が最大で低温度になるに伴つて低下する。しかしゴム混合のものの低下度は少ない。

図-1 は、ゴム粉末混合率 0, 3, 5, 7 および 10% のアスファルト・モルタルの靱性値の各温度における変化を示す。

5. 金 属

土木工事における金属は、鋼橋、水道管、水力発電所用水圧鋼管類、鉄筋コンクリート用鉄筋等の外、最近施工機械を広く駆使するようになって、益々用途が広がって来た。

しかも溶接技術も進歩して、種々の鋼構造に利用され、常温における溶接部の試験も行われているが、低温度における試験は航空機用材以外余りデータがない。寒冷地においては、この種の試験は緊要である。

一般に、金属に対する低温度の影響は次の通りである：降伏点、引張り強さ、硬度、耐久性限度、弾性係数、熱伝導度、電気伝導度等は、増加する。断面の減少、衝撃抵抗性、圧縮度、熱膨脹性、比熱等は減少する、伸びは恐らく少しく減少する。

低温度における金属の試験に関しては、A.S.T.M. にもまだ標準試験方法というものがなく、Symposium の程度である。土木的の金属使用上からは、衝撃抵抗に最も関心が持たれる。衝撃試験には、Izod と Charpy の両方法が行われているが、後者の方が好まれている。容量は、低温室と供試体の寸法とに至大の関係があるが、普通用いられるのは 30 kg. m 程度 (120~240 ft. lb, 打撃速度 15~18.1 ft/sec) である。

供試体寸法は、通常 0.394 in (10.076 mm) 角、長さ 2~2.165 in (50.8~54.991 mm) である。切欠きは、供試体中央部に横断方向に設けるが、0.160 in の深さに鋸目を入れ、その底部に No. 47 の穿孔を設けた Key-Hole と、深さ 0.079 in (2.0066 mm) で底部に 0.01 in (0.254 mm) 半径の円味を持たせ $45 \pm 1^\circ$ の開きを持つた V-Notch があるが、この種の試験体としては、V-Notch の方がよいという意見がある。

最近、北大で行つた溶接橋の鋼材供試体に関する Charpy 衝撃試験は、次の通りに行われた。試験機：前川製シャルピー衝撃試験機、容量 30 kg. m. ハンマーの重量 22.78 kg, 回転中心よりハンマーの重心までの距離 0.6917 m.

供試体； 溶接したものおよび溶接しないものの2種、寸法10×10×55 mm、JIS Key-Hole ノッチ深さ2 mm、溶接した材料では溶接部にノッチを切つて衝撃曲げ破壊による吸収エネルギー測定。

試験温度； 30, 20, 10, 0, -10, -20, -25, -30, -40 および -60℃ の10種類。試験温度は次のようにして取つた。

10～ 30℃、実験室内 水
0℃、低温室内 氷水
-30～-25℃、同 上 寒剤、塩化カルシウムおよび氷
-30～-60℃、同 上 寒剤、ドライアイスおよび工業用アルコール

試験成績； 表—3 に示す通りである。

表—3 溶接並びに非溶接構造用鋼衝撃試験成績

温度 (℃)	非 溶 接 鋼 材			鋼 材 溶 接 部		
	落 下 角 (°)	上 昇 角 (°)	吸収エネルギー (kg cm/cm ²)	落 下 角 (°)	上 昇 角 (°)	吸収エネルギー (kg cm/cm ²)
30	134	61.3	18.54	134	84	12.87
	134	52.5	20.54	134	83.5	12.73
	134	56.5	19.64	134	88	11.50
	平	均	19.57	平	均	12.37
20	134	62	18.34	134	86.5	11.91
	134	67.5	16.98	134	94	9.85
	134	60	18.82	134	84.5	12.46
	平	均	18.05	平	均	11.07
10	134	68	16.85	134	86	12.04
	134	66	17.35	134	87	11.76
	134	70.5	16.21	134	87	11.76
	平	均	16.80	平	均	11.85
0	133.5	76	14.56	133.5	87	11.57
	133.5	88.3	11.21	133.5	89	11.02
	133.5	72.9	15.38	133.5	85	12.12
	134			134	89	11.22
	134			134	87	15.73
	平	均	13.72	平	均	12.33
-10	119.5	61.2	15.35	119.5	73.8	12.15
	119.5	61	15.40	119.5	81.5	15.59
	119.5	46.8	18.54	119.5	75	15.22
	平	均	16.43	平	均	14.32
-20	120	87	8.70	120	83	9.80
	120	86	8.97	120	86	8.98
	120	79	10.88	120	—	—
	平	均	9.52	平	均	9.39
-25	120	86	8.97	120	82.5	9.95
	120	85	9.25	120	88	8.43
	120	84	9.79	120	95	6.50
	平	均	9.34	平	均	8.29

-30	120	91	7.60	120	94.5	6.64
	120	91	7.60	120	93.0	7.05
	120	92	7.33	120	87.5	8.56
	平 均		7.51	平 均		7.42
-40	119	101	4.63	119	93.5	6.72
	119	106.5	3.21	119	91.3	7.27
	119	103.3	4.01	119	94.7	6.40
	平 均		3.95	平 均		6.80
-60	119	115	0.98	119	101.5	4.50
	119	112.5	1.65	119	103.0	3.83
	119	112.5	1.65	119	98.5	5.31
	平 均		1.43	平 均		4.55

各平均値を図示すれば、図-2の通りであつて、この場合熔接鋼材は、常温時には吸収エネルギーが普通鋼材より大であるが、低温時には小となり、 $-10 \sim -30^{\circ}\text{C}$ においてはやや等しい。

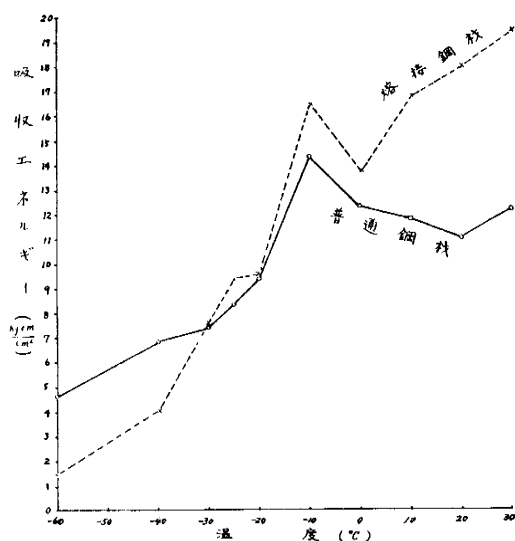


図-2 熔接鋼材および普通鋼材の衝撃吸収エネルギーと温度との関係

6. ゴムおよびゴム製品

ゴムおよびゴム製品は、機械類のパッキングには広く用いられているが、最近コンクリート舗装の目地材としてまた封緘用材料として用いられる傾向にある。これらの低温度における性質の試験方法には次のようなものがある。

一定期間冷却して、その容器内で硬度、抗張力、伸び

を測定する方法、液体空気で冷却しながら引張力および伸びを測定する方法、ドライアイス中に試料を挟みよく冷却させて、取出すと直ちに打撃を加えて破壊するかどうかを見る方法が行われる。冷却温度 -20°C までを取るにはアムモニア冷却器、 -50°C まで冷却するにはドライアイスを用いる。

一般に、加硫不充分的ゴムには耐寒性に欠ける処がある。最適量に加硫したゴムとか、過量に加硫ゴムは、耐寒性に富み、硬度はやや高くなるが、また内部組織を引締める為か抵張力は大きくなる。

従つて寒冷地用ゴムには加硫量を多くしなければならない。

7. 煉瓦

煉瓦については、A.S.T.M.規格：C 67-44に標準方法が規定されている。これは極めて詳細に亘つているが、今その主な部分を摘記して見る。

供試体—50,000本のロット毎あるいはその端数毎の煉瓦から少くも5本、500,000本を超過するロットに対しては、100,000本毎あるいはそのロットに含まれている端数から5本の煉瓦を選択する。

これら供試体の識別用標識は、その供試体の表面積の5%を超過してはならない。

凍結融解試験用供試体は、曲げ試験で得られた大略平面で平行な両端を有する半截煉瓦で、曲げ試験か、吸水試験を終つた(24時間浸漬試験および5時間煮沸試験損傷せず健全なもので、5個を以て1単位とする。

装置—最初 32°C を超えない温度において煉瓦を入れた後、1時間 -9°C を超えないように、その内部の気温を降下し得るコンプレッサー、循環器を備えた凍結室。供試煉瓦を入れたまま、凍結室内に入れあるいは

はこれから取出し得るような適切な強さと寸法を有し、内法深さ $38.1 \pm 12.7 \text{ mm}$ を有する皿状の容器。内部の空気を循環し、 $110 \sim 115^\circ\text{C}$ の間に温度を保ち得る乾燥炉。容量 $2,000 \text{ g}$ で、 0.5 g まで感ずるハカリ。皿状容器上の供試体を完全に浸漬した水を温度 $24 \pm 5.5^\circ\text{C}$ に保持し得る融解用水槽。相対湿度 30 および 70% の間で、 $24 \pm 8^\circ\text{C}$ の温度に維持され、且つ方法 B に用いられる気乾に際して通気が行われないように作られた乾燥室。

試験用供試体——曲げ試験で得られた、大凡平面で平行な両端を有する半截煉瓦で、曲げ試験あるいは吸水試験 (24 時間浸漬試験および 5 時間煮沸試験から得られた、損傷せずまたは健全なもの 5 個を試験用供試体とする)。

方 法 A

操 作——24 時間の浸漬試験および 5 時間の煮沸試験を行つた供試体を、乾燥する。これを冷却して 0.5 g まで秤量する。凍結—融解試験開始の前に、その供試体を 48 時間、融解水槽の水中に完全に浸漬する。これらの供試体を皿状の容器内に小端立てにし、各々の間に少くも 12.7 mm の空間を置く。この容器内に十分に水を注入し、各供試体が 12.7 mm の深さの水中に立つようにし、且つその内容物と共にその容器を、20 時間凍結室内の温度に晒らす。20 時間の後、この容器を凍結室から取出し、その内容物入りの容器を 4 時間融解槽内の水中に浸漬する。この凍結融解作用を 3 回繰返えした後、これを乾燥室内で 24 時間乾燥し、次いで乾燥炉内で 72 時間乾燥する。その後、供試体を冷却してその重量を秤り、48 時間水中に浸漬し、再び 3 サイクルの凍結融解作用を繰返えす。

これらの、乾燥、秤量 48 時間水中浸漬、3 サイクルの凍結融解の繰返えしの一連の操作は、乾燥した時に、その重量損失が 3% を超過するか、あるいは破壊するか、あるいは視覚検査で判定して 51 サイクルの完了前に 3% を超過する損失に等しい程度に崩壊するまで、これを繰返えす。

計算および報告——51 サイクル後の重量の損失は、乾燥した供試体の最初の重量の百分率として、これを計算する。あるいは、破壊を生ずるか、または重量の 1% および 3% の損失を生ずるに必要としたサイクル数を報告する。

方 法 B

操 作——凍結融解開始前の予備操作は、方法 A と同じである。凍結融解は 5 回これを繰返えし、5 回目の凍結後、4 時間の融解に引続いて、その供試体を乾燥室の床の上に 40 時間貯蔵する。この時、これらの供試体を積み重ね、あるいは堆積してはならない。且つ任意の 2 本の供試体の間には少くも 25.4 mm の空間を置く。こ

の気乾の期間に引続いて、供試体を検査し、4 時間融解水槽内の水中に浸漬し、その後 5 サイクルの凍結融解を繰返えす。

これらの、乾燥、4 時間水中浸漬、続く 5 サイクルの凍結および融解の繰返えしは、その供試体が破壊するか、あるいは視覚検査によつて判定して、その最初の重量の 3% を超過して損失したと判定されるのでなければ、全 50 サイクルの凍結および融解が完了するまで、これを継続する。50 サイクルの完了後、あるいは顕著な崩壊の結果として、供試体を試験から外した時、その供試体を乾燥炉内で乾燥する。

計算および報告——供試体の重量の損失は、これを乾燥した供試体の最初の重量の百分率として計算する。あるいは、供試体が破壊を生じ、あるいはこれを試験から外した時のサイクル数を報告する。

供試体を、水が供試体のすべての辺上に自由に循環できる様式で、 $15.5 \sim 30^\circ\text{C}$ の清浄な水 (軟水、蒸留水あるいは雨水) 中に、浸漬する。その水を 1 時間以内に沸騰するまで加熱し、5 時間煮沸を継続し、且つその後 16 時間以上 18 時間以内の間、自然の熱の損失によつて、 15.5 ないし 30°C まで冷却する。その後その供試体を水から取出し、湿つた布片で表面水を拭き去り、供試体を秤量する。任意の供試体の秤量は、水槽からこれを取出した後、5 分間以内にこれを完了しなければならない。

若し、 $15.5 \sim 30^\circ\text{C}$ の水が水槽を通じて連続的に、且つ水の完全な変換が 2 分間以内に起る割合で行われる排出口を設備しているならば、この水槽内に供試体を入れてから 1 時間の終りに秤量することができる。

この A.S.T.M. 規格の制定前、北大で実施した野幌産煉瓦の凍害試験は次の通りである。

即ち、供試体を $70 \sim 80^\circ\text{C}$ の乾燥器内で乾燥し、一定重量になつた後、室温の水中に浸漬し、一定重量になるまで充分吸水せしめて後、 $-27 \sim -30^\circ\text{C}$ の冷凍室内に小端立てにして静置し、約 24 時間して取出し、 $2 \sim 5^\circ\text{C}$ の水中に約 24 時間浸漬して完全に融解し、再び冷凍室内に静置する。この時毎回重量を秤つてその変化を視覚と重量の両面から観察した。冷凍室内に静置する時には、なるべく周囲から一様に冷却するように、供試体は、 1 cm 角の木片あるいはこれで組んだ枠の上に置いた。

亀裂の入るまでの凍結融解繰返えしサイクルは、焼過 1 等品では $6 \sim 9$ 回、焼過 2 等品では $18 \sim 20$ 回、乾燥重量はそれぞれ平均 $2,489$ および $2,528 \text{ g}$ 、吸水率は、重量比で 11.86 および 9.78% 、容積比で 21.29 および 17.80% であつた。一般に焼過 2 等品は、焼度が過度なので形はゆがんでいるが材料としての凍害抵抗性は 1 等品より上廻っている。並焼煉瓦では、甚しいのは僅かに 2 回、全数の 60% は 6 回以内に亀裂が入つた。

吸水率の増加は、0.80～4.27%で、破壊後の吸水率は24.73～35.40%であつて、亀裂の早く入る順序は、空隙の小さいもの、吸水率は小さいが焼成中に割れ目の多いもの、および、空隙が大きく多いものの順であつた(技術資料第2号参照)。

8. 石 材

石材は、建築用あるいは石積工用の石材として重要であるばかりではなく、またコンクリートあるいは舗装、道路用骨材としても本質的な石材の耐久性を検討する必要がある。

試験方法としては、凍結融解の繰返しによるものと化学薬品を用いるものがある。前者については、A.S.T.M.にもまだ規格の明らかなものはなく、その外のもは、供試体に充分吸水せしめて冷凍し、次に水中で融解して、その減損重量を測定する方法を繰返すのである。供試体寸法は、2.5 cm, 立方凍結温度は-10～-15°C, 融解水の温度は15°C程度で、繰返し総回数は、25回(大蔵省臨時議院建築局およびドイツ)、10回(英国)等の例がある。石材は、その成形が困難なのでその試験例は比較的少ない。北大実験室で、道産石材について、特に比較的軟質のものに関しては個数を多くして煉瓦と同様の操作を行い、供試体に亀裂の入るまで凍結融解を繰返し、その減損重量を取つた。

その結論を要約すれば次の通りである。

花崗岩および安山岩で吸水率2%以下のものは凍害安全であり、吸水率10%以上のものは凍害を受け易い。これらはコンクリート用あるいは道路用骨材撰択の基準とすることができる。而してこれら吸水率10%以上のものの内には、凍害抵抗性に関して大きな問題がある。即ち実験の範囲では、吸水率および圧縮強さには必ずしも比例しない。凝灰岩の吸水率22.64%, 圧縮強さ85.1 kg/cm², 亀裂までの凍結融解繰返し回数14～15回に対し、流紋状安山岩、13.72%, 250.5 kg/cm², 2回以内という成績で、軽石も凝灰岩程度である。これは専ら岩石中の空隙の形と存在状態によることが大きく浮んで来る。AEコンクリートとの関係にもある示唆が与えられる。また凝灰岩については、凍害抵抗性は、吸水上昇速度に比例することが知られた。16時間で4 cm以内のものは19～40回で、12時間に5 cm以上のものは15回以内である。しかし流紋状安山岩でも2～3 cmの薄いものは凍害抵抗性が比較的大である。

尚、凝灰岩の減損重量は、凍結融解繰返し回数50回未満で0.1～2.5%の範囲にあり、0.1～1.8%のものが最も多かつた。

9. 骨 材

骨材の凍害抵抗性に関して、凍結融解繰返し試験は極めて興味深いものがあるが、現在までの処、硫酸ナトリウムあるいは硫酸マグネシウムのような化学薬品を用いる骨材の健全度試験が広く行われている。A.S.T.M.暫定規格C88-46 Tがこれである。これら2種の塩類による試験成績はかなり相違している。

装 置——フルイには、細粒用、粗粒用として2系列を準備する。

細粒用フルイの系列——No. 100 (149 μ), 50 (297 μ), 30 (590 μ), 16 (1,190 μ), 8 (2,380 μ), 4 (4,760 μ).

粗粒用フルイの系列——3/8 in (9,525 μ), 3/4 (19,050 μ), 1 1/2 (38,100 μ), 2 1/2 (63,500 μ), これ以上は1 in (25,400 μ) おきの大きな寸法のもの。

容 器——骨材を塩類溶液中に浸漬させる容器であつて、1回に浸漬する試料の少くも5倍の容量を有し、骨材が漏れ出ないような開孔のあるワイヤ製網、あるいはフルイで作製した籠が最も適切である。

ハカリは、細骨材用には、容量500 g以上、感量0.1 gまで、粗骨材用には、容量5,000 g以上、感量最小1 gまでのもの。

乾燥炉は、自由に空気が循環し、105～110°Cの温度を維持できるもの。

この外、酸溶液中に骨材浸漬中、試料の温度を規正する為の適当な手段を必要とする。

特殊溶液——酸溶液は、25～30°Cの水中に、化学用(c.p.)あるいは米同業局法(U.S.P.)またはこれらと同等の塩類を溶解して調製する。充分な飽和溶液とする為に、無水(Na_2SO_4 または MgSO_4)あるいは結晶質($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ または $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)を充分量加え、試験用に準備し終つた時、尚結晶がいくらか残っている位にする。これらの塩を加えている間は、充分にこれを攪拌し、且つ使用するまで頻繁に攪拌しなければならない。この溶液は、 $21 \pm 1^\circ\text{C}$ の温度まで冷却し、使用前少くも48時間はその温度を維持する。使用直前には完全に攪拌され、その時の比重は、硫酸ナトリウムは1.151～1.174, 硫酸マグネシウムは1.295～1.308としておく。

硫酸ナトリウムを用いる場合には、22°Cにおける飽和には、水1 litに Na_2SO_4 215 g, または $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 700 gで充分なのであるが、いくらか過剰量の結晶を確保するには、前者350 g以上、後者ならば750 g以上が推奨されている。乾燥粉末として得られるものは殆んど無水と考えられて用いて最も都合よく経済的である。結晶水を有しているものは溶液に対する冷却の影響があ

つて、所要溶液の合成に諸種の困難がある。

硫酸マグネシウムを用いる場合には、23°Cにおいて飽和するには、水 lit に MgSO_4 350 g、または $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1,230 g で充分なのであるが、これらは完全に安定ではない。結晶水を含んだものは比較的安定であるが、過剰の結晶を確保する為に、1,400 g 以上を用いることを推奨する。

試料——試験用細骨材は、3/8 in (9,525 μ) フルイを通過するものとし、次の寸法のフルイを通過し且つその次の寸法のフルイに止る量が 100 g 以上で、それが全量の 5% 以上にならなければならない。そのフルイの組合せは、No. 30 (590 μ) 通過、No. 50 (297 μ) 止り；No. 16 (1,190 μ) 通過、No. 30 (590 μ) 止り；No. 8 (2,380 μ) 通過、No. 16 (1,190 μ) 止り；No. 4 (4,760 μ) 通過、No. 8 (2,380 μ) 止り；3/8 in (9,525 μ) 通過、No. 4 (4,760 μ) 止り。

粗骨材は、No. 4 (4,760 μ) フルイよりも細かい寸法のもので除去した材料から成立つていなければならない。その寸法は、細骨材の場合に準じて試験され、その試料は、次の諸種の寸法の量を生じ、その寸法は 5% 以上の量がなければならない(但し角孔フルイ)。No. 4 (4,760 μ) 通過、3/8 in (9,525 μ) 止り、300 g；3/8 in (9,525 μ) 通過、3/4 in (19,050 μ) 止り、1,000 g；その組成、3/8~1/2 in (9,525~12,700 μ) の材料、33%，1/2~3/4 in (12,700~19,050 μ) の材料 67%；3/4~1 1/2 in (19,050~38,100 μ) の材料 1,500 g；その組成、3/4~1 in (19,050~25,400 μ) の材料 33%，1~1 1/2 in (25,400~38,100 μ) の材料 67%；1 1/2~2 1/2 in (38,100~63,500 μ) の材料 3,000 g；その組成、1 1/2~2 in (38,100~50,800 μ) の材料、50%；2~2 1/2 in (50,800~63,500 μ) の材料、50%；フルイの寸法で 1 in (25,400 μ) とびに大きな寸法、各々 3,000 g。

別法 A——試料の粒度組成が、次の寸法のものをより適切に作っているならば、それを用いてもよい(但し角孔フルイ)。

No. 4~1/2 in (4,760~12,700 μ)、300 g；1/2~1 in (12,700~25,400 μ)、1,500 g；その組成、1/2~3/4 in (12,700~19,050 μ) の材料、33%，3/4 ないし 1 in (19,050~25,400 μ) の材料、67%；1~2 in (25,400~50,800 μ)、3,000 g；その組成、1~1 1/2 in (25,400~38,100 μ) の材料、50%，1 1/2~2 in (38,100~50,800 μ) の材料、50%；フルイの寸法で 1 in (25,400 μ) とびに大きな寸法、各々 3,000 g。

別法 B——上に規定されているものよりも狭い寸法範囲にある粗骨材を試験することが望まれる時には、次の諸寸法(角孔フルイ)を用いてもよい。

No. 4~3/8 in (4,760~9,525 μ)、300 g；3/8~1/2 in (9,525~12,700 μ)、500 g；1/2~3/4 in (12,700~19,050 μ)、

750 g；3/4~1 in (19,050~25,400 μ)、1,000 g；1~1 1/2 in (25,400~38,100 μ)、1,500 g；1 1/2~2 in (38,100~50,800 μ)、2,000 g；フルイ寸法で 1 in (25,400 μ) とびの大きい寸法、各々 3,000 g。

このように近い寸法の骨材を試験することは、粒度組成された骨材を試験するよりもより苛酷な試験を行うことになる。これは注意を要する事実である。

若し試料が、上に示方されている諸寸法の内のあるものの 5% 未満の量を含んでいることになつていれば、これをも試験する。しかし、それらの諸試験成績を計算する目的には、次のものより小さく且つ次のものより大きい寸法の平均と、硫酸ナトリウムあるいは硫酸マグネシウム中における損失があることを考えなければならない。あるいは、これら諸寸法の 1 つが無ければ、どちらが存在する内の次の、より大きいまたはより小さい寸法と同じ損失を有することが考えられなければならない。

試験用試料の調製——細骨材 試料は、No. 50 (297 μ) フルイの上でこれを十分に洗い、105~110°C で一定重量になるまで乾燥し、且つ次の通りにフルイに掛けて異つた諸寸法に分離しなければならない：これは上に示方されている標準フルイのネストを用いて粒度組成された試料の粗い分離を行う。この様式で得られた各部分から、棄却する為にフルイを掛けた後に 100 g を得るに充分の諸寸法の諸試料を選択する(一般に、110 g の試料で充分であろう)。フルイの網の中に粘着している細骨材は、試料の調製にはこれを用いてはならない。100 g から成っている諸試料は、最終のフルイ掛けの後に、これを各分離された部分に秤分け、且つその試験用の分離した容器内に別々に入れる。

粗骨材 試料を十分に洗い、且つ 105~110°C で一定重量になるまで乾燥し、且つ棄却する為にフルイに掛けることによつて、上述の異つた諸寸法に分離する。各部分の試料を適当重量にフルイ分け、試験用に別々の容器内に入れる。3/4 in (19,050 μ) フルイより粗い部分の場合には、その粒子の数を算えなければならない。

脈岩 脈岩の場合には、寸法および形がかなり均一な碎片に碎き、且つ各々約 100 g を秤量して、その試料を調製する。試験用の試料の重量は、5,000 g $\pm$ 2% でなければならない。

その試料を十分に洗い、粗骨材の場合と同様に、試験に先立つて乾燥する。

試験操作——溶液中の貯蔵。 試料の上面少くも 1/2 in (12.7 mm) の深さまで被うように、硫酸ナトリウムあるいは硫酸マグネシウムの調製溶液中に、16 時間以上 18 時間以下試料を浸漬する。蒸発を減じ、且つ異物が偶然入り込むのを妨げる為に、容器に蓋をする。溶液内の試料を、浸漬期間中 21 $\pm$ 1°C の温度に維持する。この際、

適切な重量を載せたワイヤ製の格子を、容器内の試料に被せれば、軽量骨材で塗せられるべき被覆となる。

浸漬後の試料の乾燥——浸漬期間が終つてから、その骨材試料を溶液から取出して水を切り、乾燥炉内に入れる。その炉の温度は、予め $105 \sim 110^{\circ}\text{C}$ にされていなければならない。骨材粒子のどんなものでもそれが損失しないように、注意を払わなければならない。細骨材の場合には、No. 100 (149μ) フルイよりも粗い碎片はいかなるものも、損失しないように注意しなければならない。それらの試料を、示方された温度において一定重量になるまで乾燥する。乾燥した後、試料を上述の通りに調整した溶液内に再び浸漬する時、その試料を室温まで冷却しなければならない。

サイクル数——浸漬および乾燥の繰返ししの課程は、所要のサイクル数が得られるまで、これを繰返す。

定量的検討——最終サイクルの完了後、およびその試料を冷却した後、その試料を洗つて、塩化バリウム (BaCl_2) と洗ひ水の反応によつて、硫酸ナトリウムあるいは硫酸マグネシウムがなくなるまでに到らせる。硫酸ナトリウムあるいは硫酸マグネシウムを取除いた後、その試料の各部分を、 $105 \sim 110^{\circ}\text{C}$ において一定重量になる

まで乾燥し、秤量し、且つ脈岩の場合以外は、その試験前に止まつたと同一のフルイ上でフルイに掛ける。そのフルイ上に止まつた諸粒子を秤量し、その重量を記録する。

上の操作の外に、これらの粒子が裂けた証拠があるかどうかを決定する為、各破砕片を視覚検査して、報告に追加されることが考えられる。若し、その試料の分離した部分を上のように乾燥秤量した後、破砕片を含んだすべての諸寸法を組合わせ、且つ細率の決定用に完全な組合せのフルイを用いてフルイ分析を行えば、その値に報告を追加できるものと考えられる。このフルイ分析の結果を、各フルイ上に止まる累加百分率として記録する。

別 法 硫酸ナトリウムあるいは硫酸マグネシウム溶液を除去した後、その試料の各部分を、 $105 \sim 110^{\circ}\text{C}$ で一定重量になるまで乾燥して、秤量し、且つ脈岩の場合以外は、その材料が最初に止まつたフルイの半分の寸法の角孔を有するフルイ上で、フルイに掛ける。このフルイ上に止まつた諸粒子を秤量し、その重量を記録する。

脈岩の場合には、その重量の損失は、その試料の最初の重量から、3個あるいはそれ以上の片々に壊われなかつたすべての破砕片の最初の重量を差引いて、これを決

表—4 骨材健全度試験例

フルイの寸法		試料の最初の 粒度組成 (%)	試験前の試験部分の重量 (g)	試験後、細かい方のフルイを通る百分率 (実際の百分率損失)	ウェイトをつけた平均 (修正した百分率損失)
通	止				
細骨材の健全度試験					
No. 100 (149μ)	—	5.0	—	—	—
No. 50 (297μ)	No. 100 (145μ)	11.4	—	—	—
No. 30 (590μ)	No. 50 (297μ)	26.0	100	4.2	1.09
No. 16 ($1,190 \mu$)	No. 30 (590μ)	25.2	100	4.8	1.21
No. 8 ($2,380 \mu$)	No. 16 ($1,190 \mu$)	17.0	100	8.0	1.36
No. 4 ($4,760 \mu$)	No. 8 ($2,380 \mu$)	10.8	100	11.2	1.21
3/8 in ($9,525 \mu$)	No. 4 ($4,760 \mu$)	4.6	—	11.2 ^a	0.52
合	計	100.0	400	—	5.39
粗骨材の健全度試験					
2½ in ($63,500 \mu$)	1½ in ($38,100 \mu$)	20.0	3,000 ^b	4.8	0.96
1½ in ($38,100 \mu$)	¾ in ($19,050 \mu$)	45.0	1,500 ^b	8.0	3.60
¾ in ($19,050 \mu$)	¾ in ($9,525 \mu$)	23.0	1,000 ^b	9.6	2.20
¾ in ($9,525 \mu$)	No. 4 ($4,760 \mu$)	12.0	300 ^b	11.2	1.34
合	計	100.0	5,800	—	8.10

a この寸法は、受入れたままの最初の試料の5%より少量を含んでいるから、その次のより小さい寸法の損失百分率(11.2%)は、この寸法に対する百分率損失として用いられる(より小さい寸法の数字を取る)。

b 最少量；より大きい各試料を用いてもよい。

定する。

定性的検討——3/4 in (19,050 μ) より粗い試料の部分を、各回の浸漬後に定性的に検討し、且つその試験完了の時に、定量的に検討しなければならない。定性的検討および記録は次の2部から成立つ。(a) 硫酸ナトリウムあるいは硫酸マグネシウム溶液による作用の影響およびその作用の性質(崩壊、裂け、砕け、亀裂、薄片になる等として分類してもよい)を観測すること、および(2)影響を受けた諸粒子を算えること。3/4 in (19,050 μ) より大きな粒子だけを定量的に検討する必要のある間は、過剰の裂ける証拠がいくらかでもあるかどうかを決定する為に、これより小さい諸寸法のものを検討することが推奨される。

報告——報告には次のデータを記載しなければならない。(a) 各試料の各部分の試験前の重量。(b) 脈岩の場合以外、試験前にその部分が止まったフルイより細かい試料の各部分からの材料を、その部分の重量の百分率として表わす。(c) 検討用に受入れたままのその試料の粒度組成(あるいは、その試料が代表しているその供給源のその部分からの材料の平均粒度組成の方がより好ましいが)に基づいて、各部分に対する損失の百分率から計算したウェイトをつけた平均。これらの諸計算中に、No. 50 (297 μ) フルイよりも細かい諸寸法は、0%の損失であると仮定されなければならない。(d) 試験前に3/4 in (19,050 μ) より粗い粒子の場合：(1) 試験前各部分中の諸粒子の数、および(2) 崩壊、裂け、砕け、亀裂、薄片になる等の数について分類された、影響を受けた破砕片の数。(e) 溶液の性質(硫酸ナトリウムあるいはマグネシウム)。

この試験記録の一例は、表—4に示す通りである。

10. 排水土管 (A.S.T.M. 規格: C 4-24)

排水土管としては、次の3級別のものを含んでいる。

農用排水土管； 中位の寸法と深さで、農地の普通の私有の排水工事用のもの

標準排水土管； 中位の深さの、普通の局地的地盤排水用のもの

超良質排水土管； かなりの深さで、且つ超良質が望まれる処の、局地的地盤排水用のもの

材料および製造——頁岩、火成頁岩、あるいは表面粘土で造った排水土管、およびコンクリート製の排水土管に適用される。頁岩としては、埋設に平行なよく標識された裂け目を有し、薄層になり、締固められた沈積粘土を意味している。火成粘土としては、溶剤の含有量の低い沈積粘土を意味している。

ここに、表面粘土火成粘土および頁岩は、次の粘土の定義に基づいている。即ち、粘土とは主としてアル

ミナの結晶水を含む珪酸から成立っている土質、あるいは石質鉱物性骨材で、十分に粉砕され且つ湿つた時には塑性で、乾燥した時には硬く、且つ十分に高温で焼いた時には玻璃質になるものである。これは、通常石炭の尺度と一緒になっている。表面粘土としては、表面に存在していて、締固められず、層をなさない粘土を意味している。コンクリートとしては、水硬性化学反応によって硬化したポルトランドセメント、鉱物質骨材、および水の適切な混合物を意味している。製造の方法は、その製品の優秀さと品質の均一性を保証するようにならなければならない。

吸水試験

凍結融解繰返し試験を行う前に吸水試験を行わなければならない。

試験用供試体——吸水試験用の標準試料としては、5本の別々の土管の各々から3個以上の別々の試験用供試体採取する。各土管からの3個の供試体の内、1個を1端から、もう1個をその反対端から、更にもう1個を中央部から採取する。各供試体は、外側あるいは凸側上で測つて、面積が77.42~129.03 cm²で、その材料の性質が許し得る限り正方形に近くななければならない。その供試体は、土管を破壊してこれを採取しなければならず、且つ土管の壁の外観上、健全且つ密実な破片で、破壊あるいは切断の衝撃に基づく亀裂あるいは裂目があり、またはその縁端が破碎してはならない。これは、採取位置、寸法等が適切ならば、強さ試験に用いた土管の破壊片から得られてもよい。この供試体は、試験のどの段階においても確かめられるように識別用の標識をつける。

試験用供試体の乾燥——吸水試験の予備措置として、最初に供試体を秤量し、その後3時間以上11°C以上の温度で、乾燥器あるいは炉の中で乾燥する。乾燥器から取出した後、その供試体を20~25°Cの温度まで冷却し、且つ再び秤量する。若しその供試体が、採取した時に、外観上乾燥して居り、且つ2回目の重量が最初の重量に近ければ、その供試体が乾燥していると考えられる。若しその供試体が、採取した時に、湿つていることが知られているならば、それらを2時間更に乾燥処理する為に乾燥器内に入れ、且つ再び秤量する。若しこの3回目の重量が、2回目のものに近ければ、その供試体が乾燥していると考えられる。多少でも疑問がある場合には、照査重量を得るまでその供試体を2時間再乾燥する。

秤量および再秤量——用いるハカリは、1 kgの重量を載せた時、0.5 gまで感じなければならない。且つ秤量は、少くも最も近いgまでこれを読まなければならない。メートル式以外の錘を用いる処では、同じ程度の精度が得られなければならない。浸漬後の再秤量中に、その供試体を水から取出し、1分間以内水を切り、表面水

をタオルあるいは吸取紙で取り去り、且つ直ちにその供試体をハカリの上に載せる。

試験用供試体の浸漬——秤量後の供試体を、適切なワイヤ製の容器内に入れ、衝き合うのを妨げる為充分に梱包し、蒸溜水あるいは雨水で覆い、沸騰点まで上げ、且つ5時間煮沸し、且つそれから10~15°Cの最終温度まで水中で冷却しなければならない。

計算および報告——試験成績は、小数第1位まで繰上げて、最初の重量の百分率としてこれを計算する。その成績は、標準試料を含んだ15個あるいはそれ以上の供試体の平均と共に、各供試体について別々にこれを報告する。これには、最大および最小の単独の観測値をその平均の中に入れ、且つ標準試料中に代表されている各土管の3個の供試体の最大および最小の間の変動をも報告する。

凍結および融解試験

試験供試体用——凍結融解試験を行うのに用いられる試験用供試体は、吸水試験に関して示方されている通りに撰択した、もう1組とする。これを上述の通り乾燥する。秤量、再秤量は、吸水試験におけるハカリを用い、これと同一操作による。その後、18~24°Cの温度を有する水中に72時間浸漬して、秤量する。

凍結および融解——水で飽和して供試体を秤量した時、これらを水中に戻し、凍結試験の開始まで浸漬しておかなければならない。凍結には、剛性の金属製条板箱内に適切に載せられた不吸水性の金属皿中に凹んだ表面を上向きにして静置し、且つ供試体が実質的に水の温度に達するまで氷水の中に浸漬し、その後その水を各々の皿の中に12.7mmの深さにまで引去る。その条板箱は、全体を供試体を乱さないで引上げ、且つ凍結装置内に置く。凍結は、認められ得る自然あるいは人工的環流のない静かな大気中で行われなければならない。人工的凍結装置を用いるならば、その装置は、凍結室の温度を、供試体を入れた後30分間以内に、-10°C以下に降下させ得るよう充分の熱吸収容量を有しなければならない。凍結装置内の温度は、-20°C以下に下降してはならない。これ以下の凍結状態を受けさせることは、意味のないものと考えなければならない。以上の条件で凍結させた後、供試体を入れた条板箱を引出し、且つ直ちに適当な寸法の特別の容器内の18~24°Cの温度の水中に浸漬する。供試体を浸漬した後、水ができる限り速やかに必要とする温度になるよう加熱を継続し、それから18~24°Cの温度を2時間以上継続せしめる。この融解操作の終りにおいて、供試体を入れた条板箱を検査し、且つ各回の融解後の各試料の状態を記録中に記載しなければならない。

破壊認定の方法——凍結および融解処理下の破壊は、次のような時に生ずると考えられる。(a) その供試体が、最初の乾燥重量の5%を超過する重量の損失を伴った表面の破壊あるいは崩壊を示す。あるいは、(b) 供試体の表面に薄片を生ずる以外に、ひどく亀裂を生ずる。あるいは、(c) 供試体が、構造的強さの著しい烈しい損失を示す。

11. 締固められたソイルーセメント混合物 (A.S.T.M. 規格: D 560-44)

この試験方法は、既知の組成および均一密度および湿分含有量のソイルーセメント混合物の凍結、融解繰返しによつて生じた、ソイルーセメントの損失、湿分の変化、および体積変化(膨潤および収縮)の決定に用いられる。

装置——(a) 型枠は、内径4 in (101.6 mm)、高さ約4.6 in (116.8 mm)、容量1/30 ft³ (0.944 lit)を有する円筒型のもので、体積1/30 ft³ (0.944 lit)、直径4.0 in (101.6 mm)、高さ約4.6 in (116.8 mm)のソイルーセメント混合物の締固めた供試体を調製せしめる為に、高さ約2½ in (63.5 mm)の取外し可能な組立用カラーを有している。その型枠とカラーは、取外し可能な底板上に緊結されるようになっていいる。(b) 突棒は、直径2 in (50.8 mm)の円形面を有し、且つ5.5 lb (2.4948 kg)の重量を有する金属製で、示方落下高を確保する為に適切な装置を備える。(c) スリーブは、直径4 in (101.6 mm)より僅かに小さい閉塞した円筒型のものか、あるいは型枠から締固めた供試体を取り出す為の同様の装置。(d) ハカリは、容量25 lb (11.34 kg)で、0.01 lb (4.536 g)までに感ずるハカリあるいはスケール、および容量100 gで0.1 gまでに感じるもの。(e) 乾燥炉は、湿った試料の乾燥に用いられ、約110°Cの温度を維持できる、サーモスタットで制御できるもの。(f) 凍結函は、-23°C以下の低い温度に維持できるもの。(g) 湿気函は、締固めた供試体の7日間の貯蔵および凍結した供試体の融解用に、温度21 ± 1.7°C、相対湿度90%を維持できるもの。(h) ワイヤ製掻きブラシは、各10本の剛毛50群を集め、7½ in × 2½ in (190.5 mm × 63.5 mm)の堅木のブロック上に、縦方向に5列、横方向に10列を形成するように植付けた、2 in × 1/16 in (50.8 mm × 1.59 mm)の扁平な26番ゲージのワイヤ剛毛でできているもの。

供試体成型用材料の調製——この試験は、セメントの水和前に、最適含水比における最大密度で、且つ米岡材料試験協会のソイルーセメント混合物の湿分——密度の関係に関する標準試験方法(A.S.T.M. 規格: D 558)中に示方されているものと同一の様式で、型枠の中に締固められたソイルーセメント混合物について行う。土壌

は、道路敷内の代表的試料を用いるのが基準であつて、 $3/4$ in (19.05 mm) 以上の寸法の材料については (b) に述べる通り変更をする。

(a) 4 番 (4,760 μ) フルイ上に止まる材料を含まないソイル—セメント混合物に対するもの：高さ約 4.6 in (116.8 mm)、直径 4 in (101.6 mm) の締固めた供試体の作製用に、試験すべき充分量のソイル—セメント混合物を調製する。

(b) ソイル—セメント混合物が、4 番 (4,760 μ) フルイ上に止まる材料を含んでいる時、(a) 節中に記述されているものとは違つて、次の操作による：供試体は直径 4 in (101.6 mm) であるから、その供試体に用いられるべき最大寸法の材料を規定する必要がある、この寸法は $3/4$ in (19.050 mm) に止められる。 $3/4$ in (19.050 mm) より大きな材料に対しては、最初の土壌の試料中に含まれていると同一の粒度組成の 4 番 (4,760 μ) ないし $3/4$ in (19.050 μ) の等しい乾燥重量で置換えることによつて補正される。上に定義されている通り必須量の、飽和し且つ表面の湿つた 4 番 (4,760 μ) フルイ目より大きな材料を湿つた 4 番 (4,760 μ) フルイ通過材料に加えた後、充分量のソイル—セメント材料を最適含水比において調製し、高さ 4.6 in (116.8 mm)、直径 4 in (101.6 mm) の締固めた供試体を作製することになる。

供試体の成型——(a) 調製された材料は、米土材料試験協会のソイル—セメント混合物の湿分—密度関係に関する標準試験方法 (A.S.T.M. 規格：D 558) に示方されているものと同一様式で、次の層を入れ且つ締固める前に各層の締固め中に生じた平滑な締固め平面を、幅約 $1/8$ in (3.2 mm)、深さ $1/8$ in (3.2 mm) の溝を約 $1/4$ in (6.34 mm) の間隔に互いに直角をなして引掻くことを追加規定し、型枠の中にこれを締固める。締固め中、代表的なソイル—セメント混合物の湿分検査用試料を、そのバッチから採取し、秤量し、且つ少くも 12 時間、あるいは一定重量になるまで 110°C (230 F) の炉内で乾燥しなければならない。締固められた供試体を型枠から取出し、秤量し、且つその密度を決定する；その体積は (1) 供試体の中央と $1/4$ 点において互いに直角をなして最も近い 0.02 in (0.05 cm) まで測定した高さを平均することにより、あるいは、(2) 水銀のような非吸収性液体中に浸漬し、且つ置換する方法によつて、これを決定する。

(b) 1 個の供試体は、他の必要な識別標識と共に No. 1 として、金属製の札 (あるいはその他の適切な装具) 上に書込み、且つ試験中の湿分および体積変化に関するデータを得る為に、これを用いる。もう 1 個の供試体は、その他の必要な識別標識と共に No. 2 として区別し、この試験中のソイル—セメントの損失に関するデータを

得る為に用いられる。

(c) 上に述べた必要なデータを得た後、その供試体を湿気室内の適切な運搬具上に載せ、且つ 7 日の期間中自由水が加わらないように保護する。その供試体 No. 1 は、毎日の含水比と供試体の体積算定用のデータを与える為、毎日これを秤量し且つその寸法を測る。

操 作——(a) 湿気室内の貯蔵が終つてから、供試体と運搬具との間に飽水したフェルト製の当て物、吸収紙あるいは同様の吸水性材料を置く。この組合せた物を 22 時間、 -23°C 以下の一定温度を有する冷凍室内に置き、且つこれを取出す。その No. 1 供試体 (体積および湿分変化供試体) は、これを秤量し且つその寸法を測定し、且つ両供試体を湿気室内に置く。毛管上昇によつて水を吸収させる為に、その供試体の下の吸水性当て物に、自由水を加えるようにする。

(b) 湿気室中に 22 時間置いた後、両供試体を秤量し、且つ No. 1 供試体を測定する。No. 2 供試体 (ソイル—セメント損失用供試体) には、凍結および融解中に弛緩したすべての材料を去除く為に、ワイヤ製掻きブラシで、全面積上に 2 回しつかりしたストロークを加える。ブラシ掛けの後、その供試体を再び秤量する。ブラシ掛けでその供試体から落された材料の含水比を、直ちに決定する。しかし若しこれができなければ、No. 1 供試体の含水比に等しいと仮定してもよい。その供試体からブラシ掛けで落された材料の炉内乾燥 (110°C) 重量を、計算する。

(c) (a) と (b) に記述されている諸操作は、凍結および融解の 1 サイクル (48 時間) をなしている。その後その供試体を冷凍室内に移し、且つその操作を継続する。こうして集めたデータによつて、No. 1 供試体の体積変化と湿分変化、および No. 2 供試体のソイル—セメントの損失の計算をする。

(d) No. 1 供試体の凍結および融解は、これを 12 サイクル継続するか、あるいは若し、供試体の歪みとか、ソイル—セメントの損失によつて測定が不精密になるならば、12 サイクルに先立つてこれを中止する。No. 2 供試体の凍結および融解は、若しできれば、12 サイクルの間、これを継続する。

計 算——これらの供試体の体積と湿分の変化、およびソイル—セメントの損失は、これを次の通りにして計算する：

(a) 成型の時の No. 1 供試体の体積と、次々の体積との間の差異を、最初の体積の百分率として計算する。

(b) 成型の時の No. 1 供試体の含水比と、次々の含水比とを、その供試体の最初の炉内乾燥重量の百分率として計算する。

(c) No. 2 供試体のソイル—セメントの損失を、そ

の供試体の最初の炉内乾燥重量の百分率として計算する。

上の試験方法について、直径4 in の型枠では、3/4 in (19,050 μ) の骨材には小さくはないかという疑問があつて、2, 3 の研究者が直径6 in (15.3 cm) の型枠で比較試験を行つた結果は、これら両者の寸法では差異のないことが明らかにされている。

12. 参考文献

- 1) 材料研究会：工業材料便覧。金属，非金属（昭和16年3月）。
- 2) 板倉：材料の凍害に関する2, 3の問題について。雪氷，5巻，12号（昭和18年12月）。
- 3) 板倉：材料および構造物の凍害並びにその対策について。(I), (II), (III)，土木学会北海道支部技術資料，1, 2, 3号（昭和26年10月，昭和27年1月，昭和27年7月）。
- 4) 板倉・菅原：Dynamic Tests on the Stability of Bituminous Mixtures for Pavement at Low Temperatures, 北海道大学工学部紀要，9巻，4号（昭和29年11月）。
- 5) 板倉・菅原：Dynamic Tests on the Stability of Bituminous mixtures for pavement at Low Temperatures (II), Experimental Researches on Rubber Blended Asphalt and Asphalt Mixtures, 北海道大学工学部紀要，10巻，1号（昭和30年9月）。
- 6) H. W. Gillet: Impact Resistance and Tensile Properties of metals at Subatmospheric Temperatures, A.S.T.M. Special Technical Publication No. 47, August 1941.
- 7) A. O. Schaefer, G. E. Landt, E. B. Foley: Symposium on Effects of Low Temperature on the properties of materials, A.S.T.M. Special Technical Publication No. 78, March 19 1946.
- 8) E. J. Zeigler: Effect of Material Retained on the Number 4 Sieve on the Compaction Test of Soil, Proc. H. R. B., Vol. 28 1948.
- 9) R. C. Mainfort, W. L. Lawton: Laboratory Compaction Tests of Coarsegraded Paving and Embankment Materials, Proc. H. R. B., Vol. 32 1953.
- 10) A.S.T.M. Standard, Part III.

技 術 資 料

第十一号

コンクリートの耐久性試験について

正 員 北海道開発局土木試験所 林 正 道

目 次

1. コンクリートの耐久性
2. コンクリートの耐久性試験
3. コンクリートの凍結融解試験方法
4. 全自動式コンクリート急速凍結融解試験装置
5. 急速凍結融解試験による試験例
6. 結 語

要 旨

本文は近時ようやく注目され始めたコンクリートの耐久性試験について述べ、併せて今春北海道開発局土木試験所に設置された全自動式コンクリート急速凍結融解試験装置について述べたものである。

1. コンクリートの耐久性

コンクリートの耐久性とはコンクリートが使用に耐え

うる時間的長さで表わされるコンクリートの性質である。コンクリートはその構造物の強度計算に用いられた強度を持たなければならないと同時に所要の耐久性をもたなければならない。コンクリートの強度を試験によつて数字的に表わすことは簡単であるが耐久性を数字的に表わすことは困難であり、従来圧縮強度の大きいコンクリートは一般に耐久性も大きいものと考え、圧縮強度の大きいコンクリートの製造に力を注いでいた。しかしAEコンクリートのように圧縮強度は小さいが耐久性が大きいものもあるので一考を要するところである。

コンクリートの耐久性を支配する外的因子としては風雨、雪、寒暑等の気象作用、水の滲透作用、海水、酸、アルカリ等の化学作用、車輪、流水、浪、波浪等によるすりへり作用、高温による火熱作用等がある。このうち、特に気象作用については、寒中コンクリートにおいてコンクリート打込み後凍害を受けないようにと従来からも相当の注意が払われていたものである。しかしこの