

凍結融解抵抗性に与える骨材の影響について

北見工業大学 正員 鮎田 耕一
正員 猪狩 平三郎
学生員 猪股 祥光

1. まえがき

コンクリートあるいはモルタルは、凍結融解作用の繰り返しをうけることによって劣化し破壊する。しかしながら、これらに急速凍結融解作用を与えると、その劣化の性状にかなりの相違がみられる。たとえば、non AE コンクリートにくらべて、モルタルの凍結融解抵抗性は極めて大きく、その劣化性状はAE コンクリートとよく似ている。コンクリートがモルタルにくらべて、凍結融解抵抗性が小さい原因の一つは、粗骨材とモルタルとの付着面がコンクリートの劣化を促進する弱点となっているためであるらしいことは、早くから示唆されているが¹⁾、本研究では、凍結融解作用をうけるコンクリートの劣化性状に及ぼす骨材の影響を調べるために、粗骨材としてモデル骨材及び天然骨材を用いて実験を行った。モデル粗骨材を用いた実験では、凍結融解作用に伴う粗骨材の間隔の変化の測定を、天然骨材を用いた実験では、内部微小ひびわれの測定を行ったので、その結果、明らかになった2, 3の特徴について報告する。

2. 実験方法

(1) モデル粗骨材を用いた実験

凍結融解試験はASTM C 666 に準じて、1 サイクル4 時間の水中における急速試験を行った。使用したセメントは比重3.13、4 週圧縮強度377 kg/cm^2 の早強ポルトランドセメントである。細骨材は北見産山砂と能取産山砂を重量で1 : 1 に混合して使用した。混合後の比重は2.63、吸水量1.81%、粗粒率2.60 である。また、モデル粗骨材としてSR 24 の丸鋼を使用した。

凍結融解作用に伴う粗骨材とモルタルの界面の挙動を調べるために、 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ のモルタル製のはり型供試体の表面にモデル粗骨材として、直径が6 mm、13 mm、19 mm の3 種類で、長さが2.0 cm の丸鋼を埋め込んだ。

モデル粗骨材の埋め込み位置は図-1 に示すとおりで、モデル粗骨材の供試体中における位置の影響などを調べるために、打設面に平行に埋め込んだものをHタイプ、垂直に埋め込んだものをVタイプとした。母材に使用したモルタルの配合は、単位セメント量615 kg、水セメント比50%、単位細骨材量1304 kg である。測定は凍結融解作用にともなう生ずるモデル粗骨材の間隔の変化をコンタクトゲージを用いて行った。

(2) 天然粗骨材を用いた実験

凍結融解試験の方法はモデル粗骨材を用いた場合と同じである。使用したセメントは比重3.15、4 週圧縮強度452 kg/cm^2 の早強ポルトランドセメントである。細骨材は比重2.62、吸水量0.85%、粗粒率2.34 の斜里産浜砂、粗骨材は比重2.66、吸水量1.39%、粗粒率7.12 最大粒径25 mm の丸内川産川砂利を使用した。また粗骨材の形状による影響を調べる目的で、比重2.65、吸水量2.33%、粗粒率6.77 の斜里産碎石を使用し、さらに、碎石の角ばりをおとすためにロサンゼルス試験機を用い鋼球なしで、1000 回、2000 回、回転させて作製した加工碎石を用いた。用いたコンクリートの配合は表-1 に示

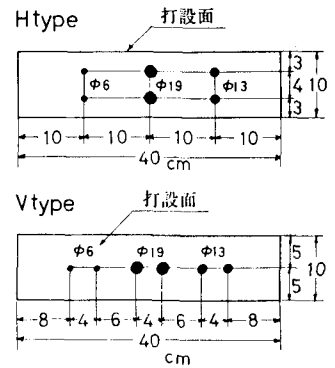


図-1

供試体	単位セメント量(kg/m ³)	絶対容積(kg/m ³)				
		セメント	水	細骨材	粗骨材	
細骨材率 % 65	35	320	102	160	258	480
	50	365	116	183	350	351
	410	130	205	430	233	
最大寸法	20	280	89	140	270	501
	25	270	86	135	272	507
形状	0.31	354	113	177	248	462
	0.35	338	108	169	253	470
	0.41	330	105	165	255	475

表-1

すどおりであり、粗骨材容積、最大寸法、形状を変化させて実験を行った。加工碎石の形状は、円摩度であらわした結果、ロサンゼルス試験機の回転数0、1000、2000回の骨材が各々、0.31、0.35、0.41となった。

微小ひびわれ測定用の供試体は、 $10 \times 10 \times 20$ cmであり、一定サイクル時及び長さ変化率がほぼ一定になったときに試験槽からとりだした後、打設面に対して垂直にカッターで切断した。微小ひびわれ測定のために、切断面を#60、#200、#600の金剛砂で入念に磨いたあと、赤マジックインクを塗布しさらに#600の金剛砂で磨いて観測に供した。微小ひびわれの観測は、倍率20倍の投影機を使用し、その定量化にあたっては、文献2)を参考にした。本実験の場合、測線長は340 cmとなった。

3. 実験結果及び考察

(1) モデル粗骨材を用いた場合³⁾

凍結融解作用に伴うモデル粗骨材の間隔の変化を、Hタイプ、Vタイプごとに測定した結果、粗骨材の径が大きいはど粗骨材の間隔の変化が大きくなる傾向がみられたが、HタイプとVタイプとの間には大きな差異はなく、モデル粗骨材の位置による影響はあまり認められなかった。そこで粗骨材の径ごとにまとめた結果と、母材であるモ

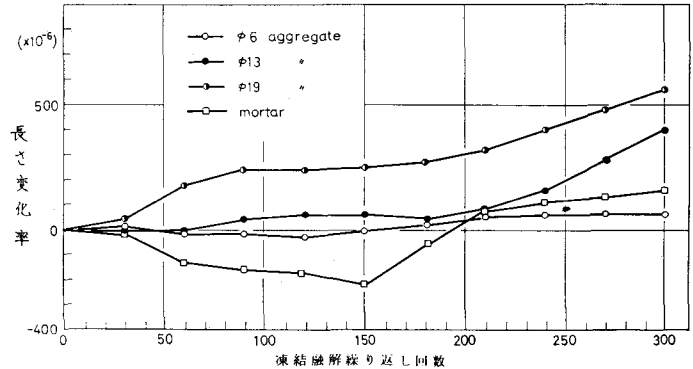


図-2

ルタルと同一配合のモルタル供試体の長さ変化の測定結果を図-2に示す。これによれば、最も粗骨材の間隔の変化の小さい直径6 mmの粗骨材の場合でも、その長さ変化の割合はモルタルよりも大きく、凍結融解作用の繰り返しによって粗骨材とモルタルとの界面に微小なひびわれが生ずることを示している。粗骨材の径による影響をさらに明らかにするために、300サイクル終了時のタイプ別、径別の長さ変化率の値をあらわすと図-3のようになる。これによればHタイプの場合、粗骨材の径が大きくなるにしたがって、その間隔の変化が直線的に増加している。また、Vタイプの場合は、19 mmの径の場合の間隔の変化の増加の割合が他にくらべると小さいが、やはり径が大きくなるにつれて、長さ変化率が大きくなる傾向を示している。以上のモデル粗骨材による実験結果から、凍結融解作用によるコンクリートの劣化過程を粗骨材とモルタルの界面性状の点からみれば、まず径の大きな粗骨材とモルタルとの間の界面に微小なひびわれが発生し、凍結融解の繰り返しとともに、順次径の小さな骨材の界面にも同じ現象があらわれて、それらの微小ひびわれが、モルタル内に発達していった破壊に至ると考えられる。

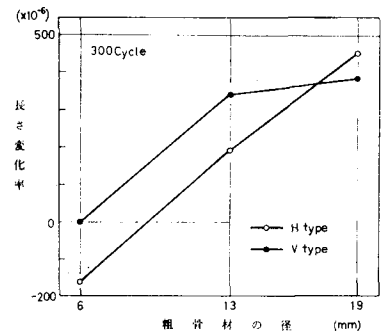


図-3

(2) 天然粗骨材を用いた場合、

1) 細骨材率の影響: プラスチックでワカブルな範囲ではほぼ同一のコンシステンシーであれば、細骨材率が高いほどコンクリートの凍結融解抵抗性が大きくなる⁴⁾。これを微小ひびわれの発生点から調べるために、凍結融解60サイクル経過時、長さ変化率が約 2500×10^{-6} になったときの供試体をカットして、セメントペースト部分、細骨材界面、粗骨材界面に生じている微小ひびわれを測定した。図-4,5は60サイクル経過時の各微小ひびわれの発生数、発生率を示しており、実線は60サイクル時の測定値、破線はそれから0サイクル時の測定値をひいた値を示してある。これによれば、粗骨材界面の微小ひびわれの発生率が、細骨材界面にくらべると大きく、

セメントペースト部分の微小ひびわれ発生率が、細骨材率が大きくなるほど小さくなる傾向にあることを示している。図-6,7は、供試体の長さ変化率が 2500×10^{-6} になったときの各微小ひびわれの発生数、発生率を示しているが、粗骨材界面の微小ひびわれの発生率は、初期の60サイクル時(ひずみは約 50×10^{-6})にくらべると増加しているものの、細骨材率による影響はみられない。それに対して、細骨材界面およびセメントペースト部

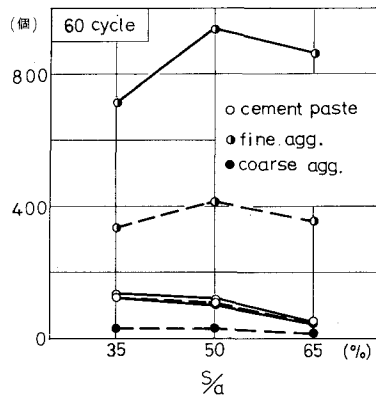


図-4

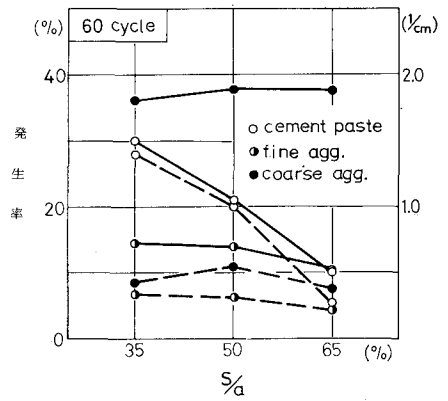


図-5

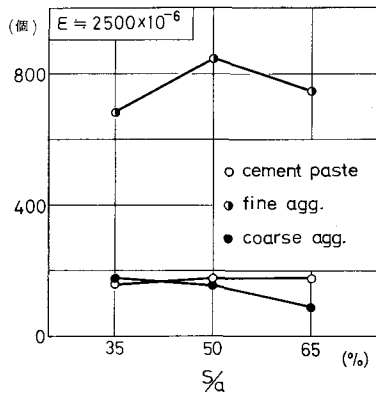


図-6

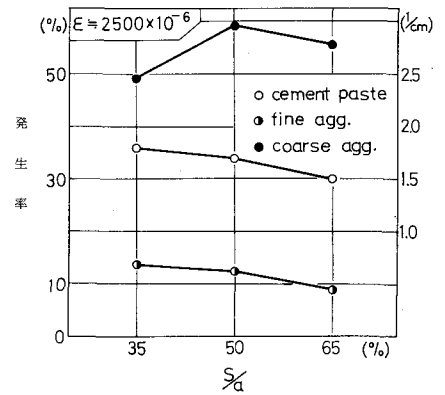


図-7

分の微小ひびわれの発生率は、あまり増加の傾向を示していないが、細骨材率が大きくなると発生率が減少する傾向を示している。したがって、細骨材率の大きいコンクリートが凍結融解抵抗性が高い原因の一つとして、細骨材量が多くなっても、それに応じて細骨材とモルタルの界面の微小ひびわれは増加せず、その結果、骨材界面の微小ひびわれと微小ひびわれを橋渡しする形で生じているペースト部分のひびわれが減少して耐久性が増加するものと考えられる。

2)粗骨材の最大寸法の影響：モデル粗骨材による実験結果からも明らかのように、粗骨材の最大寸法が小さいほど、コンクリートの凍結融解抵抗性は大きくなり、特に粗骨材の最大寸法が10 mm以下になると、その影響は著しい⁴⁾。いま、粗骨材の粒径の違いによる微小ひびわれの発生量の違いを明らかにするために、粗骨材の粒径が15~20 mm, 20~25 mmの単一粒度からなるコンクリートを用いて実験を行った。微小ひびわれの測定は、長さ変化率が約 2300×10^{-6} になったときに行い、その結果は図-8,9に示しておりである。これによれば、細骨材界面、ペースト部分の微小ひび

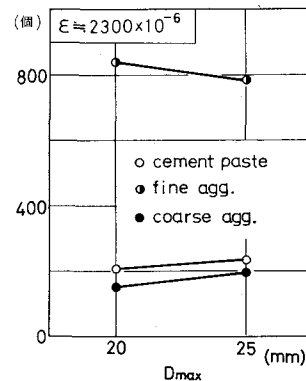


図-8

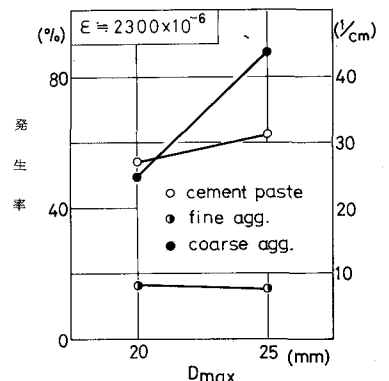


図-9

われの発生率は、粒径の違いによってほとんど変化していないが、粗骨材界面の微小ひびわれの発生率は、粗骨材の粒径が大きくなると、極端に増加しており、粒径の大きな粗骨材とモルタルとの界面が、凍結融解抵抗性に対する弱点となることを示している。

3)粗骨材の形状の影響：コンシステンシーがほぼ同じコンクリートであれば、粗骨材の形状が丸味をおびている方が、やや凍結融解抵抗性は大きくなる傾向にあるものの、細骨材率、粗骨材の粒径の違いによるほど大きな差異は生じない。⁴⁾これを微小ひびわれの点から確認するために一定サイクル経過時の微小ひびわれの発生数、発生率を測定した結果が図-10、11である。これによれば、粗骨材の形状が丸味をおびている供試体ではベーストひびわれの発生率が減少しているものの、粗・細骨材界面の微小ひびわれの発生率には一定の傾向が見出だせず、形状が円摩度0.3~0.4程度の範囲では、凍結融解抵抗性に及ぼす粗骨材形状の影響は、ほとんどないようである。

4)粗骨材界面の微小ひびわれの発生位置：コンクリート供試体中の粗骨材の位置によって、界面ひびわれの発生状況が異なっているかどうかを調べるために、打設面に対して上部と下部にわけて発生率を調べた。その結果、上・下部ではあまり差はなく、モデル粗骨材の場合と同様に、打ち込み深さ10 cm 程度では、粗骨材の位置による影響は顕著にでてこないものと思われる。次に、個々の粗骨材のどの位置に微小ひびわれが発生しているかを調べるために、ひびわれ発生位置を打設面に対して上・横・下に区分して測定したところ、表-2に示すように、細骨材率・粒径・形状の違う供試体とも、粗骨材下面に多くのひびわれが発生していて、この場合、ブリージングによる影響が顕著である。また、凍結融解作用をうける前の供試体では、粗骨材界面に発生した微小ひびわれのうち、下面に位置するものは70%にも及んでおり、凍結融解作用の進行とともに、粗骨材界面の微小ひびわれが下面から上面へ進行することを示している。

4. あとがき

コンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす骨材の影響について、粒径の影響をモデル粗骨材の間隔の変化と単一粒度からなる天然骨材の微小ひびわれの発生状況から、また細骨材率、粗骨材形状の影響を天然骨材の微小ひびわれの発生状況から調べたが、微小ひびわれの測定は、試料製作・投影機による観察の面である程度の誤差が生ずることは避けられず、したがっていずれも傾向を示すのに止じまった。しかし、凍結融解作用にともなう生ずるコンクリート内部の微小ひびわれの発生・進展状況の基礎資料を得ることができたと考えている。

5. 文献

1)永倉 正：土木学会論文集、第98号、昭和38.10 2)鎌田・洪・池田：セメント技術年報、XXIV、昭和45
3)鮎田耕一：北見工大研報、第7巻第2号、昭和51.6 4)鮎田・猪狩・猪股：土木学会年講、第V部、昭和51

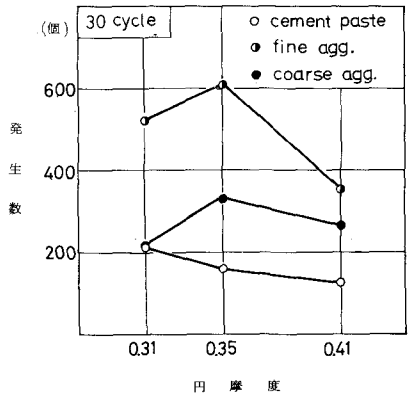


図-10

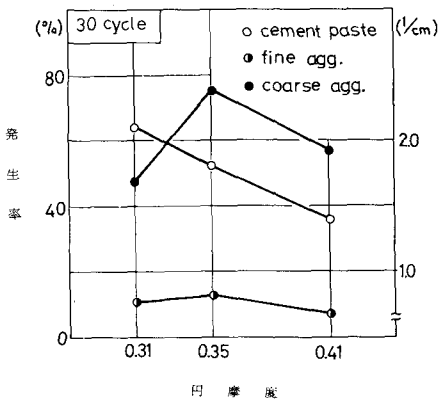


図-11

供試体	測定時の長さ変化率	発生数(回)			発生率(%)		
		上	横	下	上	横	下
細骨材率 %	35	57	28	93	32	16	52
	50	40	32	82	26	21	53
	65	22	12	54	25	14	61
最大粒径	20	54	35	80	32	21	47
	25	55	34	103	29	18	53
形状	0.31	73	53	96	33	24	43
	0.35	109	53	130	37	18	45
	0.41	134	100	162	34	25	41

表-2