

廃瓦骨材を利用したコンクリート二次製品の力学特性と凍結融解抵抗性に関する検討

松江工業高等専門学校 正会員 ○周藤 将司
松江工業高等専門学校 正会員 高田 龍一
島根県産業技術センター 正会員 江木 俊雄

1. はじめに

近年、未利用資源をコンクリートの骨材として有効活用する研究が各所で行われている^{例えば1)}。島根県においては、石見地方で石州瓦の製造が盛んである。石州瓦は、焼成温度が1200℃と高いため、それに伴って規格外瓦が廃瓦として多量に生じている。廃瓦は産業廃棄物として取り扱われるため、廃瓦を有効資源として使用する取組みが進められている。その一環としてコンクリート用骨材に規格外瓦を用いる検討が行われている²⁾。規格外瓦を使用したコンクリート（以下、廃瓦コンクリートと呼ぶ）については、力学特性に関する検討が進められている³⁾が、耐凍害性についての検討は現段階では不十分である。島根県内の山間部では、**写真-1**に示すように廃瓦コンクリートを使用した二次製品（道路縁石ブロック）において凍害が顕在化している箇所もあり、対策が迫られている。

本研究では、規格外瓦をコンクリート二次製品の骨材として利用した場合の耐凍害性を検討することを目的として試験を実施した。試験では、既に製品化された二次製品と同条件の供試体を作製し、凍結融解抵抗性についての検討を行った。

また、廃瓦コンクリート二次製品の耐凍害性を考慮する上で、AE剤の使用は不可欠である。そこで本研究では、骨材の瓦置換率、AE剤の混入の有無および養生方法の違いが力学特性と凍結融解抵抗性に与える影響についても検討を行った。

2. 試験概要

表-1に本試験で作製した供試体の示方配合を示す。使用したセメントは、配合Aは高炉セメントB種、その他は普通ポルトランドセメントである。スランプは、いずれの供試体も8±2.5cmであった。供試体としては、凍結融解抵抗性を検討するための角柱供試体（10×10×40cm）を全配合条件で、力学特性を検討するための円柱供試体（φ10×20cm）を配



写真-1 凍害の生じた道路縁石ブロック

合C～Hでそれぞれ作製した。なお、配合A、Bについては、現在、島根県内で実構造物用に実際に設計されている配合条件である。また、配合C～Hの供試体は、骨材の瓦置換率、AE剤の混入の有無および養生方法の違いが力学特性と凍結融解抵抗性に与える影響についての検討を行うために作製したものである。

養生条件は、配合Aが標準水中養生（20±2℃）を28日間行い、その後は気中養生を行った。配合Bは、前養生として2時間以上静置後、ブルーシートで全体を覆い、蒸気をシート内に供給しながら20℃/h以下で65℃まで昇温させた。その後常温となるまで放冷してその後、気中養生を行った。試験開始材齢は、半年から1年である。

配合C～Hの供試体については、水中養生と促進養生をそれぞれ行い、計12水準の供試体を作製した。水中養生は標準水中養生とした。促進養生については、前養生を3時間設け、その後10℃/hで50℃まで上昇、50℃一定で3時間保持し、10℃/hで常温まで降下させ、その後は気中養生とした。凍結融解試験開始材齢は共に7日である。

角柱供試体については、JIS A 1148:2010に基づいてコンクリートの凍結融解試験（A法）を実施し、相対動弾性係数と質量変化率の測定を行った。測定は概ね36サイクルごとに行い、300サイクル終了まで試験を行った。

表-1 示方配合

記号	W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	瓦置換率 (%)	単位量 (kg/m ³)						混和剤 (kg/m ³)	
					W	C	FA	S	G	瓦	減水材	AE 剤
A	53	42.8	4.5±1.5	100	155	292	—	818	0	823	2.04*	—
B-1	40	44	4.5±1.5	100	174	435	—	727	0	814	—	0.026
B-2	44	44	2±1.5	0	175	398	—	762	1015	0	—	—
C	51	47.1	4.5±1.5	0	175	340	38	821	919	0	2.65	0.113
D				50	175	340	38	821	459	388	2.65	0.113
E				100	175	340	38	821	0	776	2.65	0.113
F	53	46.2	2±1.5	0	175	330	37	840	975	0	2.57	—
G				50	175	330	37	840	487	412	2.57	—
H				100	175	330	37	840	0	824	2.57	—

※印は AE 減水材を使用

円柱供試体については、コンクリートの力学特性を確認するために圧縮強度試験と静弾性係数試験を材齢 14 日と 28 日で実施した。

3. 結果と考察

凍結融解試験の結果について、図-1 に相対動弾性係数を、図-2 に質量減少率を示す。凡例中の S と W は養生条件の違いを示しており、S は促進養生、W は水中養生をそれぞれ意味している。ここで、質量減少率については試験開始時に供試体が気乾状態であったため、試験開始後に内部の空隙が水分で満たされた 36 サイクル目を基準とした。

図-1, 2 より配合 B-2 は配合 A, B-2 に比べ凍結融解作用に対する抵抗性が低いことが確認された。これは AE 剤を使用していないことに起因する。配合 B-2 については、凍結融解試験 72 サイクル終了時に相対動弾性係数が 60% を下回り、その後崩壊している。これらの結果より耐凍害性について言えば、廃瓦コンクリートは AE 剤を用いることで十分に使用することが可能であるが、AE 剤を使用しない場合には特に島根県の山間部で繰返し凍結融解作用を受けるような場所での使用には適さないとと言える。

次に AE 剤を使用した際の促進養生が耐凍害性に与える影響については、AE 剤を使用し促進養生を行った供試体（配合 C-S, D-S, E-S）は凍結融解試験 300 サイクル終了時に相対動弾性係数が 90% 程度であり、十分な凍結融解抵抗性を有すると判断できる。一方、300 サイクル終了時における C-S, D

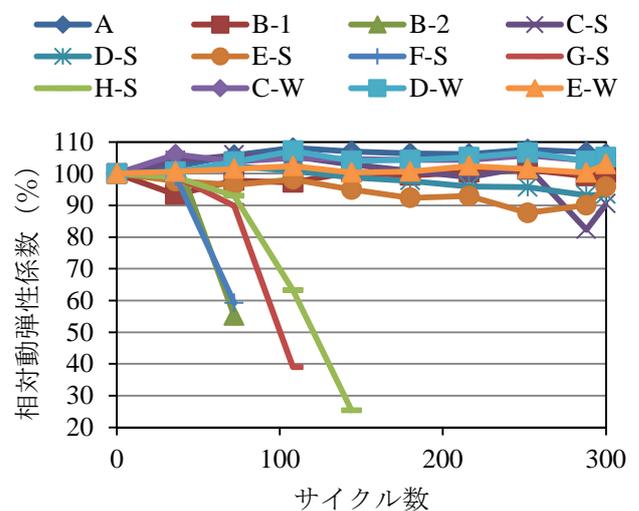


図-1 相対動弾性係数

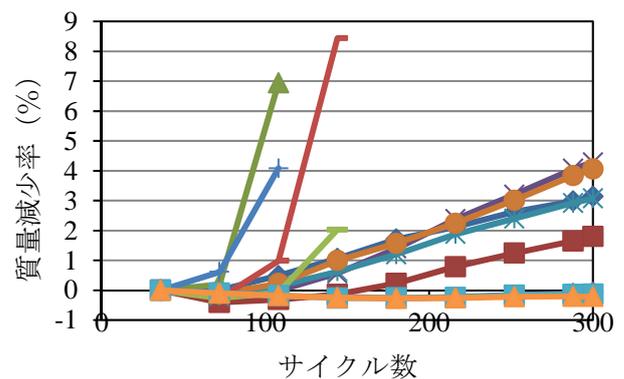


図-2 質量減少率

-S, E-S の質量減少率は 4% 程度であった。目視による評価からも、表面のスケリングの進行が顕著であった。このことから、AE 剤を使用し促進養生を行った二次製品については、凍害が進行した際に

美観上の影響が生じることが懸念される。

AE 剤の使用の有無による影響については、AE 剤を使用した供試体（配合 C, D, E）は凍結融解サイクルによる相対動弾性係数の大きな低下は確認されなかった。しかし、AE 剤を使用していない供試体（配合 F, G, H）では 72～144 サイクルの間に崩壊し、凍結融解抵抗性を有していないことが確認された。また、配合 F, G, H では質量減少率が高くなり、スケーリングに対する抵抗性も有していないと判断された。現在検討されている二次製品向けの配合条件においても、AE 剤の添加は必須条件であると言える。

瓦置換率の違いが凍結融解抵抗性に与える影響については、特に AE 剤不使用時については、瓦置換率が高いほど相対動弾性係数は高く、質量減少率は低くなる傾向が確認された。このことから耐凍害性を考える際には、瓦置換率の大小は大きく関係しないことが示唆される。

圧縮強度試験の結果を図-3 に、静弾性係数試験の結果を図-4 に示す。図-3 からは促進養生を行ったものは水中養生を行ったものよりもやや強度が低くなっているが、ともに 30N/mm^2 以上の値が確認されたため、強度の面からは二次製品としての使用はいずれの配合でも可能だと言える。また廃瓦への置換率が高いほど強度が高くなっているため、廃瓦を骨材として利用した場合には砕石使用時よりもコンクリートの圧縮強度を高める特性があることが確認された。図-4 より促進養生を行ったものは水中養生を行ったものよりも静弾性係数がやや低い、互いの差はほとんど見られないため、養生条件の違いが静弾性係数に与える影響は少ないと考えられる。

置換率の増加に伴い圧縮強度が高まった理由としては、石州瓦の特性である高い吸水性によって瓦内の微小な空隙に水分が浸入し、水中養生と同様な状態となる自己養生作用が働いたためである。また、静弾性係数は置換率の増加に伴い低くなっているが、これは石州瓦自体が砕石に比べ、静弾性係数の低い骨材であることに起因するものである。

4. まとめ

本研究より廃瓦コンクリートは、AE 剤を使用することで島根県の山間地でも供用が可能であることが確認された。また、コンクリート二次製品としては

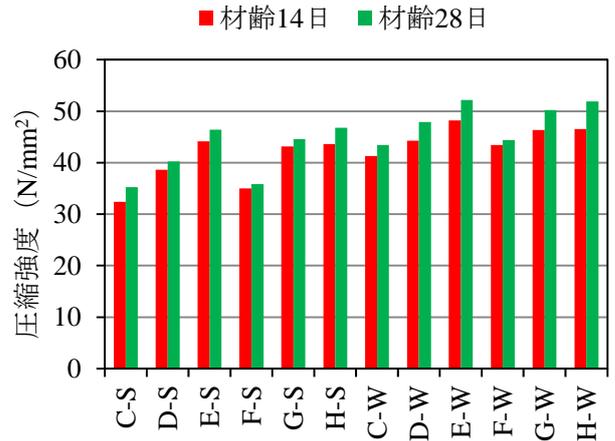


図-3 圧縮強度試験結果

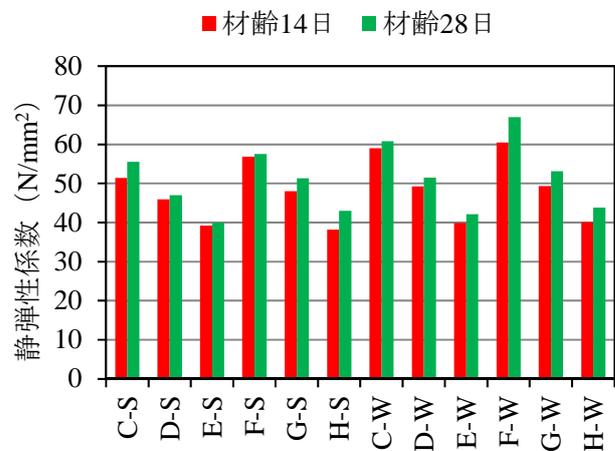


図-4 静弾性係数試験結果

AE 剤を使用し促進養生を行う場合には、コンクリートの強度、耐凍害性については問題がないが、美観上の影響が懸念されることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 武若耕司：九州地区で検討中のコンクリート用細骨材の代替素材について—シラスの利用を中心として—、コンクリート工学, Vol.48, No.1, pp.73-79, 2010
- 2) 江木俊雄ほか：規格外瓦粉砕物を骨材とした鉄筋コンクリート製床版の試作および設置、島根県産業技術センター研究報告, Vol.50, pp.45-51
- 3) 高田龍一：環境とコンクリート「廃瓦リサイクル骨材を活用したコンクリート製品」の開発について、コンクリートテクノ, Vol.26, No.1, pp.17-21, 2007