

石炭灰を大量に利用したコンクリートの寒冷地消波ブロックへの適用について

東北電力(株) 正会員 齊藤知秀 正会員 内海 博
 ハザマ 正会員 齊藤栄一 正会員 福留和人

1. はじめに

石炭火力発電所から副産される石炭灰を有効利用するための研究は種々行われているが、石炭灰を大量に利用したコンクリートは、凍結融解抵抗性に劣る¹⁾ことから、寒冷地への適用が困難であるといった欠点があった。そこで、本研究では、石炭灰を大量に配合したコンクリートを寒冷地における消波ブロックに適用することを目的に、凍結融解抵抗性の向上を図るための配合試験を実施するとともに、適用地点での最低気温を反映しブロックの劣化進行程度を評価した。さらに、消波ブロックの安定性に関する信頼性設計法により期待被災度を算定し、材料の凍結融解に対するライフサイクルコストについて考察した上で、実施工に反映させた。

2. 使用材料および試験ケース

配合試験における使用材料および凍結融解試験ケースを表-1に示す。今回実施した配合は、消波ブロックへ適用するため、石炭灰とセメントの混練物に金属スラグや重量砕石を混入し、比重を2.3に改善したものである。表-1中、“塩水練り”とは、石炭灰の硬化促進作用を有する並塩(NaCl)を混和剤として使用したことを示す。製造方法は、石炭灰特有の振動に対する流動性を利用し、スランプ0~3cmの固練り状態から外部振動により締め固める²⁾ことを特徴とするが、石炭灰および固練りの影響により、コンクリート中にエントレンドエアーを連行することが困難となることから凍結融解抵抗性に劣ることとなる。そこで、凍結融解抵抗性の改善を目的とした空気泡の連行には、フライアッシュ用のAE剤(ポゾリスMA785)を使用した。また凍結融解試験は、土木学会の基準(JSCE-G501)に則り実施し、相対動弾性係数、質量減少率を測定した。

表-1 使用材料および試験ケース

配合ケース	水粉体比 W/(C+F) (%)	水添加率 C/(C+F) (%)	水W (kg/m ³)	セメント C (kg/m ³)	石炭灰 F (kg/m ³)	鋼スラグ S (kg/m ³)	重量砕石 G (kg/m ³)	硬化促進 剤 NaCl (kg/m ³)	AE剤 (kg/m ³)	スランプ (cm)	空気量 (%)	備考
ケース1	32.0	22.3	237	165	575	1,380	-	7.8	1.04	4.0	6.8	塩水練り
ケース2	31.0	40.0	241	311	466	1,380	-	0	0.62	4.7	6.6	普通水練り
ケース3	31.0	40.0	241	311	466	1,380	-	0	1.09	3.3	13.2	普通水練り
ケース4	31.0	39.0	227	286	447	-	1,341	0	0.73	4.3	5.0	普通水練り
ケース5	31.0	39.0	227	286	447	-	1,341	0	1.03	4.3	7.8	普通水練り

鋼スラグの絶対比重は、3.42である。

重量骨材は福島産の凝結玄武岩で、絶対比重は2.98である。

(配合密度24N/m³)

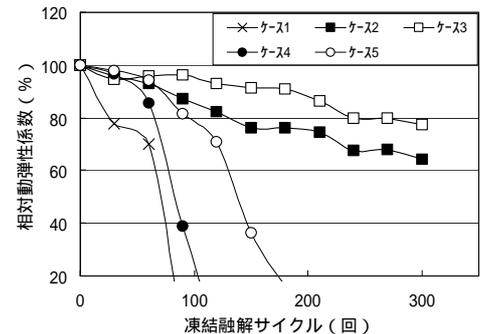


図-1 凍結融解サイクルと相対動弾性係数の関係

3. 試験結果および考察

凍結融解サイクルによる相対動弾性係数の変化を図-1に示す。ケース1(塩水練り)とケース2(普通水練り)の比較より、同程度の空気量(表-1)であるが、塩水練りの条件で凍結融解の抵抗性が低下することがわかる。これは、界面活性剤の一種であるAE剤の微細空気泡の起泡効果が、塩水を使用したことにより低減したことが原因であると考えられる。また、同じ普通水を使用した場合でも、ケース2~3(鋼スラグ)とケース4~5(重量砕石)を比較すれば、耐凍害性の観点からは、鋼スラグの方が効果があることがわかる。特に鋼スラグを用いたケース4では、300サイクル経過後の相対動弾性係数が約80%と、耐凍害性に優れた材料に改善されているのが分かる。鋼スラグと比較して、重量砕石のケースが凍結融解抵抗性に劣る理由としては、重量砕石の比重が鋼スラグよりは小さく、コンクリートとしての単位体積重量を確保するために骨材を多く混入しなければならないことにより、エントレンドエアーを確保するペースト成分が少なくなったためであると考えられる。

4. 対象地点の最低気温および期待被災度を考慮した耐凍害性の考察

今回の凍結融解試験は、土木学会基準(JSCE-G501-1986)に準拠し、-18~+5(コンクリート供試体中心部温度)の温度サイクルで実施した。しかし、極寒ではないが凍結融解作用を受ける可能性のある環境条件への適用を検討する場合、上記試験結果は過剰な配合になる可能性がある。野本ら³⁾は、最低温度が高いほど凍結融解による劣化程度が緩和される傾向にあることについて、実験的に調べ回帰式を導き出している。対象地点での

キーワード：石炭灰，凍結融解，消波ブロック，ライフサイクル

連絡先：東北電力(〒仙台市青葉区一番町3-7-1 TEL 022-225-2111 FAX 022-262-5851)

凍結融解に影響を及ぼす日最低気温の平均値は-2.4 であることから、これらの回帰式をもとに、相対動弾性係数の低下率の緩和（図-2、 -18 / -2.4：最低気温が-18 と-2.4 の場合の相対動弾性係数低下率（低下勾配）の比）、対象地点の気温特性を考慮し、相対動弾性係数が 80%に低下するまでの年数を算定した。さらに、対象地点における消波ブロックの安定性に関する信頼性設計⁴⁾により、供用年間50年と想定した場合の期待被災回数は約2回と算定された結果を用いて、供用年間に凍結融解により劣化（相対動弾性係数が被災前に80%未満に低下）する確率を求めた（表-2）。

5．凍結融解に対するライフサイクルコスト最適化について
 最適な配合の決定にあたっては、消波ブロックのライフサイクルコストにより評価した（式-1、図-3）。

$$Z = (1+kD) \cdots \cdots (1)$$

ここで、Z；ライフサイクルコスト、；施工単価（初期費、復旧費）、；全断面におけるブロックの個数、k；断面全体に対する気中部のブロック個数の割合、D；凍結融解に対する危険率を表す。凍結融解の可能性があるのは気中部の消波ブロックに限定しているため、kが大きくなるに従い、凍結融解に弱いケース4がコスト増となることが図-3より判断できる。対象地点においては、k = 5%程度であるので、ケース5がコストミニマムとなる。

以上の検討結果をもとに、ケース5の配合にて、消波ブロックの製造工事を実施した。製造した消波ブロックは、27.6ton型のアクロポッドで、施工後のブロックの状況は写真-1の通りである。これらのブロックは、現在、現地の発電所港湾施設に設置されており、長期的に凍結融解の影響を確認している。

6．まとめ

今回得られた研究成果は以下のとおりである。

石炭灰を大量に配合したコンクリートは、凍結融解作用に対する抵抗性が小さく、寒冷地への適用は困難とされていたが、適切な配合を行うことで、凍結融解抵抗性が向上し寒冷地への適用についても可能であることがわかった。

極寒ではないが凍結融解作用を受ける可能性のある環境条件においては、土木学会基準による凍結融解試験の結果に、地点別の最低気温が及ぼす凍害劣化の緩和の影響を考慮すれば、より合理的な配合設計につながる可能性があることを示した。

消波ブロックの信頼性設計法による期待被災度の概念と組み合わせ、凍結融解の危険度を確率評価するとともに、材料のライフサイクルコストが最小となる配合を選定し、実施工へ反映させた。

参考文献

- 1) 福留和人：フライアッシュ硬化体の製造方法に関する研究，新潟大学学位論文，230p，2000.
- 2) 斉藤栄一ら：材・アッシュクリート（NAクリート）を用いた消波ブロックの製造試験，土木学会第56回年次学術講演会，-212，pp.424-425，2001.
- 3) 野本高憲ら：最低気温が凍結融解作用下のコンクリートの劣化に及ぼす影響について，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.1，pp.1015-1020，1992.
- 4) 斉藤知秀ら：消波工断面のライフサイクルコスト最適化について，土木学会第56回年次学術講演会，-38，pp.76-77，2001.

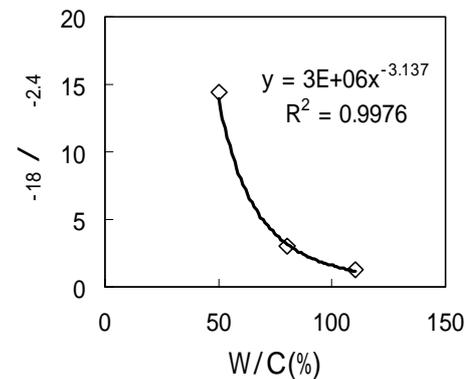


図-2 水セメント比と相対動弾性係数低下率の関係（野本ら³⁾のデータより算定）

表-2 期待被災度を考慮した凍結融解遭遇確率

	相対動弾性係数が80%に低下するまでの年数	50年間に凍結融解により劣化する確率（危険率）(D)
ケース2 (銅スラグ：AE剤少)	32年	12%
ケース3 (銅スラグ：AE剤多)	49年	0%
ケース4 (重量骨材：AE剤少)	16年	100%
ケース5 (重量骨材：AE剤多)	24年	38%

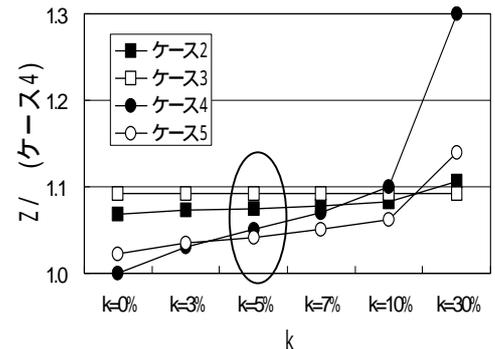


図-3 ライフサイクルコスト比較



写真-1 実施工後の消波ブロック