

論文

[1051] 発泡剤を添加した水中不分離性コンクリートの特性について

正会員○佐野 清史 (東洋建設技術研究所)
 正会員 末岡 英二 (東洋建設技術研究所)
 正会員 三浦 勝暉 (徳山曹達メント建材技術センター)
 高津 行秀 (ポゾリス物産大阪支店)

1. まえがき

水中不分離性コンクリートは、その優れた分離抵抗性、流動性および充填性から、あらゆる水中コンクリート工事へと適用拡大が図られている。その一例として、構造物基礎空隙への充填や水中構造物の断面修復、鋼管防食、RC構造物などがあり、これらへの適用においては、より高い充填性、付着性が望まれる。また、水中不分離性コンクリートは、普通コンクリートと比較して乾燥収縮が大きいこと、凍結融解抵抗性に劣ること、などから水中部にその使用が限定されている。

本研究は、水中不分離性コンクリートの適用範囲の拡大の一助として、一般に逆打ちコンクリートやプレパックドコンクリートなどに使用される発泡剤を取り上げ、これを添加した水中不分離性コンクリートの膨張作用および発泡作用による付着性の向上や凍結融解抵抗性の改善効果、乾燥収縮特性について調査したものである。

2. 使用材料

表-1 使用材料

使用材料を表-1に示す。水中不分離性混和剤(以下、不分離剤と称す)はセルローズ系のものを用い、発泡剤は施工時間を考慮してアルカリとの反応開始時間を遅らせるように

	種類	仕様
セメント	高炉セメントB種	比重: 3.04
細骨材	海砂	比重: 2.50, 吸水率: 2.70%, F.M. = 2.46
粗骨材	碎石	比重: 2.59, 吸水率: 0.78%, F.M. = 6.85 最大骨材寸法: 20mm
混和剤	水中不分離性混和剤	水溶性高分子ビド'ロキソエチルセルローズ
	高性能減水剤	高縮合トリジン系化合物
	A E 減水剤	リグ'ニソルホン酸化合物ホ'リオール複合体
	発泡剤(懸濁液)	発泡遅延処理アルミニウム, 減水剤(メタソルホン酸化合物), 分散剤(変成特殊アルコール)

被覆加工処理を施したアルミニウム粉末を、コンクリート中での分散性を増すために減水剤、分散剤とともに懸濁液にして使用した。エントレインドエアはA E 減水剤および補助A E 剤により付与した。なお、不分離剤はその空気連行作用を抑えるために消泡剤をプレミックスしているが、この量を試験目的に応じて調整して用いた。

3. 実験ケースおよびコンクリートの配合

コンクリートの配合を表-2に、各実験ケースで実施した試験および測定項目を表-3に示す。実験ケースAは主としてコンクリートの付着特性を調べるもので、流動性の高い配合とし、発泡剤の添加率に応じて4配合を設定した。実験ケースBは凍結融解抵抗性を調べるもので、単位水量、水セメント比を若干小さくし、補助A E 剤によるエントレインドエア混入の有無、および発泡剤の添加率を変化させた5配合を設定した。ケースA、Bいずれも不分離剤、高性

表-2 コンクリートの配合

実験 ケース	設定ス ランブ フロー (cm)	設定 空気量 (%)	水セメ ント比 W/C (%)	細骨材 率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				不 分 離 剤 AUA (W×%)	消 泡 剤 (AUA ×%)	高 性 能 減 水 剤	AE 減 水 剤	補 助 AE 剤	発 泡 剤 (アルミ 粉末)
					水	セ メ ン ト	細 骨 材	粗 骨 材						
					W	C	S	G						
A-1	5.5	2	5.5	4.0	235	427	605	939	1.15	8	2	0.25	-	-
-2	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	-	0.005
-3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	-	0.01
-4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	-	0.015
B-1	5.0	2	5.0	"	225	450	597	928	1.15	8	2	0.25	-	-
-2	"	5	"	"	221	442	584	907	"	3	"	"	22A	-
-3	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0.005
-4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0.01
-5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0.015

注1) 消泡剤は不分離剤にプレミックスされており、添加率は内割の値である。
 2) 補助AE剤添加率は1Aでセメント量の0.003%である。

能減水剤、AE減水剤の添加率は水中不分離性コンクリートで通常用いられている標準的な値とし、発泡剤添加率は普通コンクリートでの実績を参考にして決定した[1]。なお、補助AE剤添加ケースは、不分離剤にプレミックスされている消泡剤および補助AE剤の添加率を変化させた予備実験結果から、空気量5%となる適正添加率を設定した。

表-3 実施試験および測定項目

実験 ケース	実施試験および測定				
	スランブ フロー 空気量 圧縮強度	膨張量	膨張圧	コンクリートの曲げ 鉄筋とコンクリートの附着 長さ変化	凍結融解 気泡分布
A-1	○	-	-	○	-
-2	○	○	○	○	-
-3	○	○	○	○	-
-4	○	○	○	○	-
B-1	○	-	-	-	○
-2	○	-	-	-	○
-3	○	○	-	-	○
-4	○	○	-	-	○
-5	○	○	-	-	○

すなわち、図-1の消泡剤添加率と空気量の関係、図-2の補助AE剤添加率と空気量の関係から、不分離剤の空気連行作用を押え安定したエントレインドエアの混入ができる消泡剤添加率を不分離剤の3%、設定空気量を満足する補助AE剤添加率を22A(1Aでセメント量の0.003%)とそれぞれ設定した。

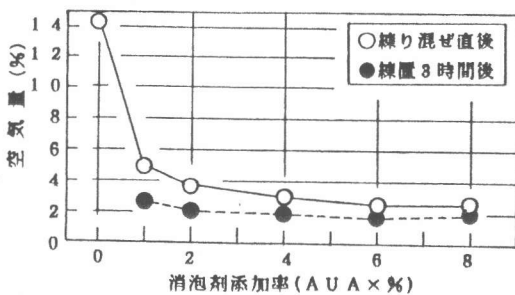


図-1 消泡剤添加率と空気量の関係

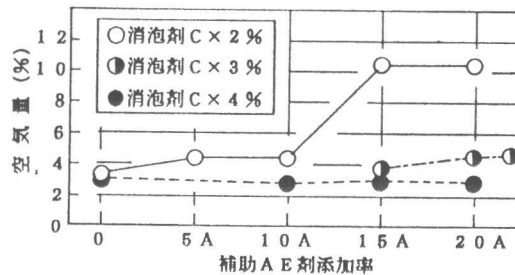


図-2 補助AE剤添加率と空気量の関係

また、実験に用いたコンクリートの練り混ぜは、強制パン型ミキサを用いて図-3に示す方法とした。ここで、注水後の練り混ぜ時間は発泡剤添加の有無によりそれぞれ120秒、90秒とした。

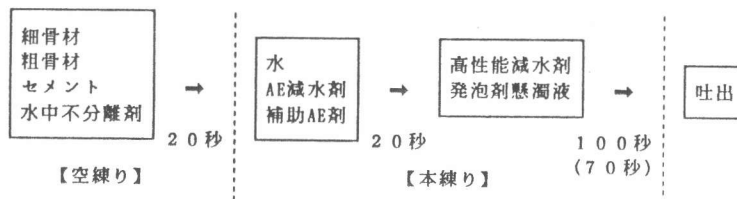


図-3 練り混ぜ方法

4. 実験方法

4. 1 膨張特性に関する実験

発泡剤を添加した水中不分離性コンクリートの膨張特性を表すものとして、膨張率、膨張圧を測定した。膨張率はコンクリートを $\phi 150 \times H300$ mmの鋼製モールドに詰め、拘束のない鉛直方向での長さ変化から求めた。膨張圧は図-4に示すように $\phi 200 \times H400$ mm鋼製モールドにコンクリートを詰め、密閉状態にして上蓋に設置した土圧計により測定した。また、各ケースのスランブフロー、空気量、圧縮強度試験をそれぞれ水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)、JISA 1118、JIS A 1108に準じて実施した[2]。ただし、圧縮強度試験用供試体は発泡剤によるコンクリートの膨張を拘束して作製した。

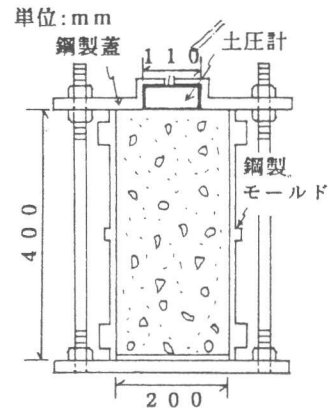


図-4 膨張圧測定方法

4. 2 付着特性に関する実験

発泡剤添加による水中不分離性コンクリートの付着性向上効果を把握するために、コンクリートの付着試験および鉄筋とコンクリートの付着試験を実施した。コンクリートの付着試験体は、図-5に示すように $600 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ の鋼製型枠の上半分に打継ぎ面の骨材を洗い出した旧コンクリート部分をあらかじめ作製し、下半分に水中不分離性コンクリートを充填して作製した。28日の水中養生後、打継ぎ部分を破壊面とする曲げ試験をJIS A 1106に準じて行い、打継ぎ面の曲げ強度により付着力を評価した。鉄筋とコンクリートの付着試験は、水平筋、鉛直筋について土木学会規準”引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強度試験方法(案)”に準じて行った。なお、試験体はいずれもコンクリートの膨張を拘束して作製した。

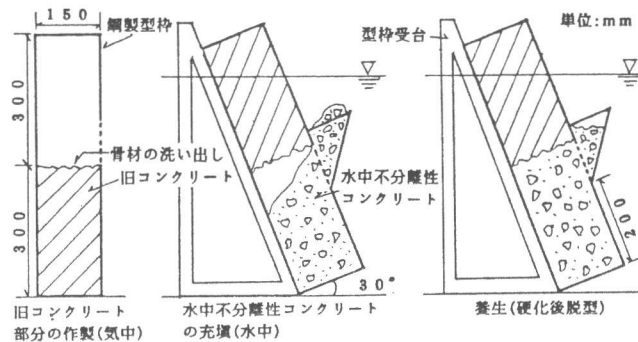


図-5 コンクリートの打継ぎ試験体作製方法

4. 3 凍結融解抵抗性および乾燥収縮特性に関する実験

凍結融解抵抗性を調べるため、凍結融解試験を土木学会規準”コンクリートの凍結融解試験方法(案)”に準じて行い、その時の気泡分布をASTM C 457におけるリニャトラバース法により測定した。また、気中での乾燥収縮特性を見るために、コンクリートの長さ変化試験をJIS A 1129 コンタクトゲージ法に従って行った。いずれの供試体も発泡剤による膨張を拘束して作製し、脱型後試験を行った。

5. 実験結果および考察

各ケースの実験結果を表-4に示す。

5. 1 膨張特性

発泡剤を添加した水中不分離性コンクリートは、図-6に示すように練り混ぜ後2~6時間経過して膨張を開始した。膨張率は時間経過とともに大きくなり、どのケースもほぼ30時間で一定となった。最大膨張率は、図-7に示すように発泡剤添加率にほぼ比例し、添加率 $C \times$

表-4 実験結果一覧

実験 ケース	スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (f ₂₈) (kgf/cm ²)	曲げ強度 (kgf/cm ²)		鉄筋とコンクリートの最 大付着応力度 (kgf/cm ²)		膨張率 (%)	膨張圧 (kgf/cm ²)	長さ変化率 (8週目) (×10 ⁻⁶)
				打継ぎなし	打継ぎあり	水平筋	鉛直筋			
A-1	49.5	2.0	344	53.9	20.7	76.0	62.4	-	-	704
-2	51.5	2.1	316	50.4	34.5	78.8	-	1.7	0.68	577
-3	52.5	2.0	288	46.0	34.3	89.9	99.2	4.5	1.46	659
-4	53.0	2.5	271	48.9	33.0	83.8	-	6.2	1.93	612

実験 ケース	スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)		膨張率 (%)	耐久性 指数 (%)	硬化コンクリー ト中の空気量 (%)	気泡間隔 係数 (μm)
			f ₁₄	f ₂₈				
B-1	49.5	2.5	272	394	-	6	2.7	466
-2	49.5	4.7	301	398	-	30	4.1	349
-3	49.5	5.3	260	343	1.2	96	6.4	370
-4	49.0	5.1	247	338	3.6	105	5.5	346
-5	48.5	5.1	251	324	6.1	104	6.6	329

注1) 強度試験値はケースAで水中作製、ケースBで気中作製であり、3本の供試体の平均値。
 注2) 耐久性指数は300サイクル、相対動弾性係数60%を基準として計算した値。
 注3) 耐久性指数、長さ変化率は3本の供試体の平均値である。

0.015%で約6%であった。この値は普通コンクリートに用いた場合における同一添加量での膨張率(1.2%)の約5倍に相当した[2]。これは、主に水中不分離性コンクリートの凝結開

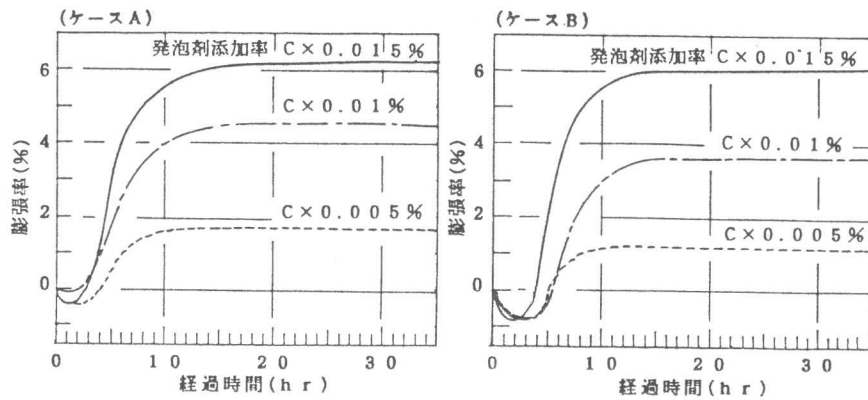


図-6 膨張率の時間変化

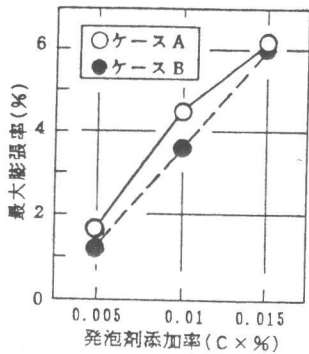


図-7 発泡剤添加率と最大膨張率の関係

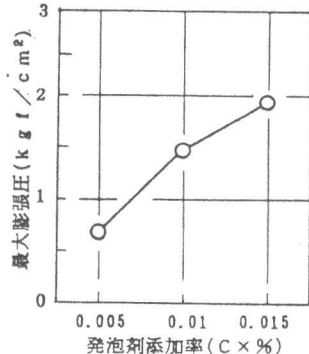


図-8 発泡剤添加率と最大膨張圧の関係

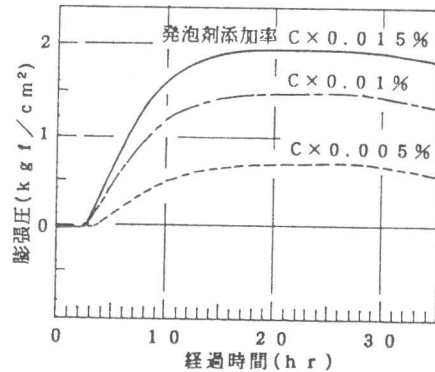


図-9 膨張圧の時間変化

始時間が遅いこと、および強い粘性のため発泡剤により発生した気泡の逃げが少なかったことによると思われる。膨張圧は、図-9に示すように膨張開始と同時に上昇し始め、膨張率と同様にほぼ練り混ぜ後30時間経過して最大値に達した。その値は図-8に示すように発泡剤添加率にほぼ比例して増加し、添加率C×0.015%の拘束密閉状態において約2kgf/cm²の値を示した。また、圧縮強度は発泡剤添加率の増加に伴い、若干低下する傾向を示した。

5.2 打継ぎ部の付着性

試験結果を図-10に示す。曲げ強度の平均値でみると、発泡剤無添加が約20kgf/cm²であるのに対して、発泡剤を添加したものは約35kgf/cm²であった。また、打継ぎを行わない試験体の曲げ強度との比率は、発泡剤無添加で36%、発泡剤を添加した場合は70~80%となった。いず

これらの結果からも、発泡剤添加により付着力が増加することがわかった。これは、打込んだ水中不分離性コンクリートの沈下分を発泡剤の膨張作用で補償し、さらにその膨張圧で付着力が増加したためと思われる。ただし、発泡剤添加率は $C \times 0.005\%$ (膨張率2%程度)で十分な効果があり、それ以上添加してもあまり効果は変わらない傾向が伺えた。

5. 3 鉄筋とコンクリートの付着試験結果

図-11に鉄筋とコンクリートの最大付着応力度を示す。各ケースともかなりばらつきは大きい、平均値を比較すると発泡剤無添加に比べ、発泡剤を添加したケースの方が大きかった。これは発泡剤の膨張作用により、鉄筋とコンクリートの付着が十分に確保されたためと思われる。水平筋においては発泡剤添加率は $C \times 0.01\%$ で十分であ

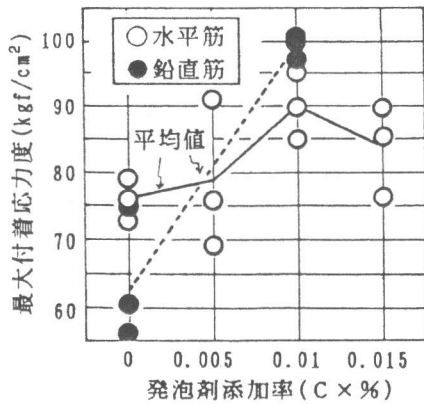


図-11 発泡剤添加率と最大付着応力度の関係

り、これ以上添加すると圧縮強度の低下により、最大付着応力度が若干低下する傾向にあった。また、図-12に付着応力度とすべり量の関係について示す。水平筋、鉛直筋ともに発泡剤を添加した方が、同一すべり量に対する付着応力度が大きい傾向が認められた。

5. 4 凍結融解抵抗性

図-13に、凍結融解回数と相対動弾性係数の関係を示す。水中不分離性コンクリートは、空気量5%程度のAEコンクリートとしても耐久性指数が30%

%であり、山本らの実験と同様、凍結融解抵抗性の改善効果はあまり認められなかった[3]。しかし、さらに発泡剤を添加したものは、耐久性指数が100%に近い値となった。この時、硬化コンクリート中の空気量が練り混ぜ後の空気量と比較して増加しており、主に発泡剤の発泡作用

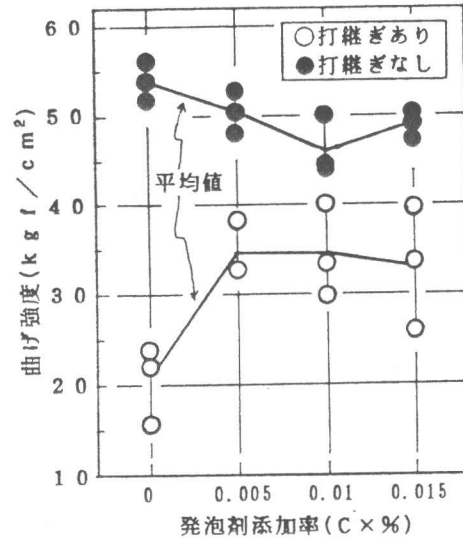


図-10 発泡剤添加率と曲げ強度の関係

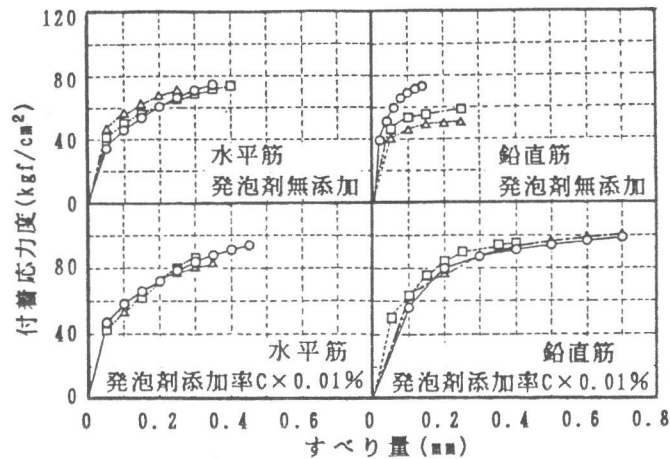


図-12 付着応力度とすべり量の関係 (各ケース3試験体)

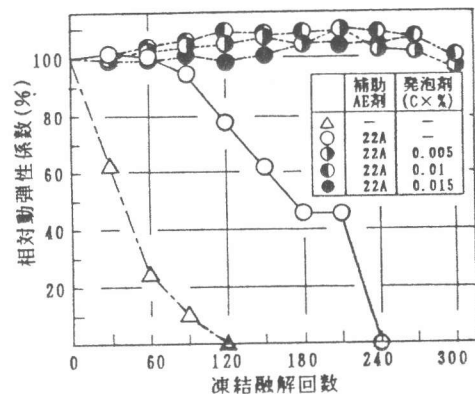


図-13 凍結融解回数と相対動弾性係数の関係

による効果と思われる。
 また、図-14に示すように100 μm 以下の細かな気泡の増加は、既往の知見に比べて明瞭ではなく、発泡剤を添加したものでも気泡間隔係数は350 μm 程度であった[4]。発泡剤添加率による気泡間隔係数の顕著な違いは見られなかった。

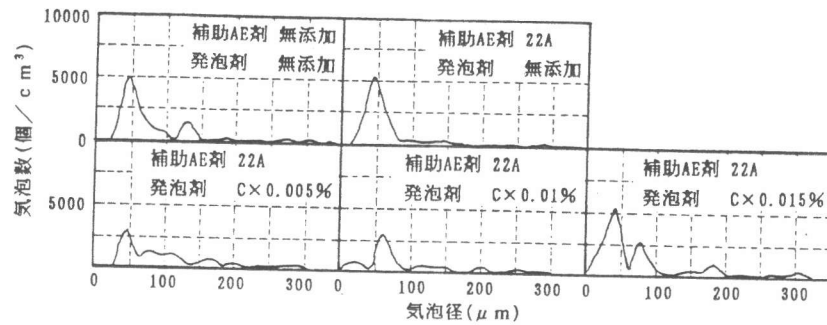


図-14 硬化コンクリート中の気泡径分布

5.5 乾燥収縮特性

図-15に乾燥収縮による水中不分離性コンクリートの長さ変化を示す。試験開始後8週における乾燥収縮ひずみは、発泡剤無添加のケースは約 700×10^{-6} で、高木らの行った実験に比べると単位水量等の違いから若干大きめであった[5]。また、発泡剤添加による乾燥収縮ひずみの増加は見られず、逆に無添加ケースと比較して 100×10^{-6} 程度小さい結果となった。

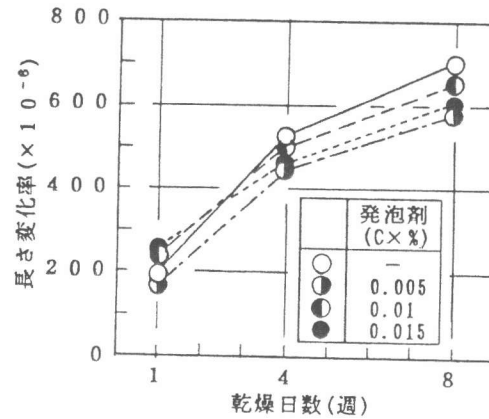


図-15 長さ変化率の時間変化

6. 結論

- (1) 発泡剤を添加した水中不分離性コンクリートは、その添加率に比例した膨張率を示し、添加率 $C \times 0.015\%$ で6%程度であった。また、その時の膨張圧は拘束密閉状態で約 2kgf/cm^2 であった。
- (2) 発泡剤添加により、水中不分離性コンクリート打継ぎ面の付着力、鉄筋とコンクリートの付着力が増大し、付着性の向上がみられた。また、付着性向上のための発泡剤添加率はセメント量の0.005~0.01%で十分であり、その時の膨張率は2~4%程度であった。
- (3) 水中不分離性コンクリートの凍結融解試験における耐久性指数は、補助AE剤のみの添加では30%であるのに対し、さらに発泡剤を添加したものは100%に近い値を示し、発泡剤による凍結融解抵抗性の改善がみられた。
- (4) 水中不分離性コンクリートにおいて、発泡剤添加による乾燥収縮ひずみの増加は見られず、逆に無添加のケースに比べて若干小さい傾向を示した。

参考文献 [1] 高津行秀・青木健二・中川脩・山本幸雄: 膨張コンクリート用特殊混和剤タイムックを用いたコンクリートの諸性質について, 日曹マスタービルダーズ研究所報, NO. 7, 1986.

[2] 土木学会コンクリートライブラリ-67: 水中不分離性コンクリート設計施工指針(案), p. 72~73, 1991. 5.

[3] 山本泰彦・長合友造: 水中不分離性コンクリートの耐凍害性に関する基礎研究, 水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集, pp. 167~174, 1990. 8.

[4] 末岡英二・佐野清史: 発泡剤を混入した水中不分離性コンクリートの膨張特性について, 土木学会第46回年次学術講演概要集5, pp. 644~645, 1991. 9.

[5] 高木宣章, 小野紘一, 宮川豊章: 水中不分離性コンクリートの水中クリープ特性について, 水中不分離性コンクリートに関するシンポジウム論文集, pp. 107~114, 1990. 8.