

V—5 フライアッシュセメントコンクリートの海水に対する凍結融解抵抗性

北見工業大学 正会員 林 正道
 北見工業大学 正会員 ○ 鮎 田 耕一
 北見工業大学 正会員 猪 狩 平三郎

1 まえがき

フライアッシュセメントを用いたコンクリートは、フライアッシュの粒子が微細でなめらかな球状をしているため、コンクリートのワーカビリティーが改善され、また、ポゾラン反応による水密性の増加などの点で有利に作用し、さらに、化学作用に対する抵抗性も大きいため、道内では海岸コンクリート構造物などに、広く利用されている。このため、セメントの生産高に占めるフライアッシュセメントの割合は、全国平均では、約2%にしかすぎないが、北海道では従来からその使用率が高く、近年の出荷実績は17%前後に達している。しかし、それでも道内のフ

ライアッシュの生産量に対する消費量の割合は、35%程度にしか過ぎず、また北電苫東厚真発電所の運転開始に伴い、その生産量が増加することが見込まれ、省資源の情勢のもとでの副産物の有効利用の点からも、さらに積極的な使用の拡大をはかることが期待されている。

本研究は、海水・潮風的作用を受けるコンクリートの凍結融解作用に対する耐久性、並びにフライアッシュセメントコンクリートの諸特性に関する一連の研究の一部として行ったものであり、フライアッシュの品質、セメントへの混合量が海水に対する凍結融解抵抗性に与える影響について検討したもので、既発表の報告¹⁾にさらに実験データを加えて考察したものである。

2 実験概要

(1) 使用材料

実験に用いたフライアッシュセメントは、表-1に示す5種類であり、メチレンブルー(M. B.)吸着量の異なる3種類のフライアッシュを母体セメントに混合した試製品である。

また、比較のために用いた普通ポルトランドセメントは、フライアッシュセメントの母体セメントであり、

表-1 セメントの種類別

略記号	セメントの種類別		M. B.吸着量 (mg/g)	F. A.分量 (%)	比重	比表面積 (cm ² /g)
FA 4	フライアッシュ セメント	A種	0.35	8	3.05	3010
FB 2		B種	0.23	15	2.96	3010
FB 4			0.35		2.94	3030
FB 6			0.60		2.95	3090
FC 4		C種	0.35	22	2.86	3070
N	普通ポルトランドセメント (フライアッシュセメントの母体)		—	—	3.17	2960
B B	高炉セメントB種		—	—	3.07	3730

表-2 コンクリートの配合と圧縮強度

種 別		水セメント	単位水量	細骨材率	スランブ	空 気 量	練りあがり	圧 縮 強
セメント	混和剤	比 (％)	(kg)	(％)	(cm)	(％)	温度 (℃)	度(kg/cm ²)
FA 4	V	50.5	131	33.0	9.0	4.6	18	268
FB 2		51.0	133	33.0	8.0	4.9	20	235
FB 4		51.0	133	33.0	8.5	5.0	19	230
FB 6		50.0	130	33.0	7.5	3.9	18	242
FC 4		51.0	133	33.0	9.0	5.2	19	214
N		52.0	135	33.0	8.0	4.2	20	248
B B		54.5	142	33.0	7.5	4.2	20	221
FB 2	P	51.0	119	33.0	8.5	4.2	20	223
FB 4		51.0	119	33.0	7.5	4.8	18	249
FB 6		50.5	118	33.0	7.0	5.2	19	256
N		53.0	124	33.0	8.0	5.5	19	259
B B	C	54.5	128	33.0	7.0	3.7	18	222
FB 2		51.0	133	33.0	8.0	3.7	20	214
FB 4		51.0	133	33.0	8.0	4.4	20	232
FB 6		50.0	130	33.0	8.0	5.1	19	244
N		52.5	137	33.0	8.0	4.4	19	276
B B		54.5	142	33.0	7.0	4.5	20	249

高炉セメントは市販品である。

骨材は札内川産の川砂（比重 2.65，吸水率 2.25%，粗粒率 2.67）、川砂利（最大寸法 30mm，比重 2.67，吸水率 1.38%，粗粒率 7.21）を使用した。

また、A E 剤あるいは A E 減水剤として市販されている 3 種類の混和剤（略記号 V, P, C）を使用した。

(2) 実験方法

セメント、混和剤の組み合わせによる合計 17 種類のコンクリートの配合はスランプ 8 ± 1 cm，空気量 4.5 ± 1 % になるように試験練りによって決定した。その結果及び材令 28 日の圧縮強度（標準養生）を表 - 2 に示す。

凍結融解試験は 1 サイクル 4 時間（凍結行程 2.5 時間，融解行程 1.5 時間）の急速試験を行った。

劣化程度を判定するために、共鳴振動による動弾性係数の変化、ダイヤルゲージによる長さ変化及び重量変化を測定した。

17 種類のコンクリートはすべて海水中における凍結融解試験を行ったが、比較のために、フライアッシュセメント B 種（M・B・吸着量

0.35 mg/g ），普通ポルトランドセメント（いずれも使用混和剤は V）については淡水中でも行った。

供試体（ $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ ）の本数は同一条件に対して 3 本としたが、上記の 2 種類のセメントと高炉セメント B 種（使用混和剤 V）については海水中では 3 本ずつ 2 組行い、結果はその平均値を用いた。

なお、供試体は、材令 28 日の凍結融解試験開始まで 20°C の水中（淡水）養生を行った。

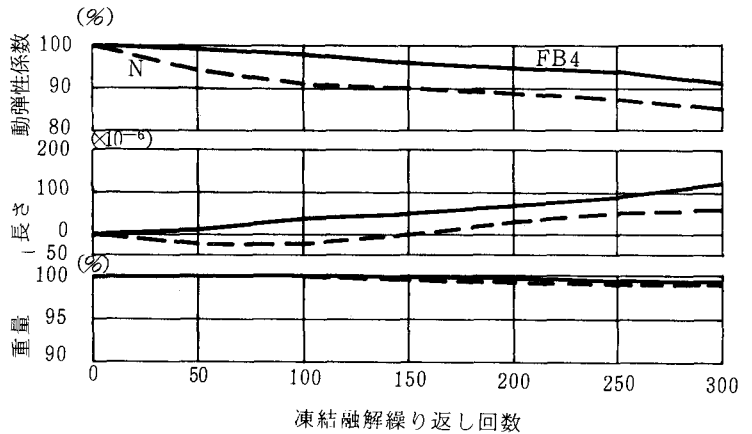


図 - 1 B 種フライアッシュ、普通ポルトランドセメントの結果
（淡水中 — 混和剤 V）

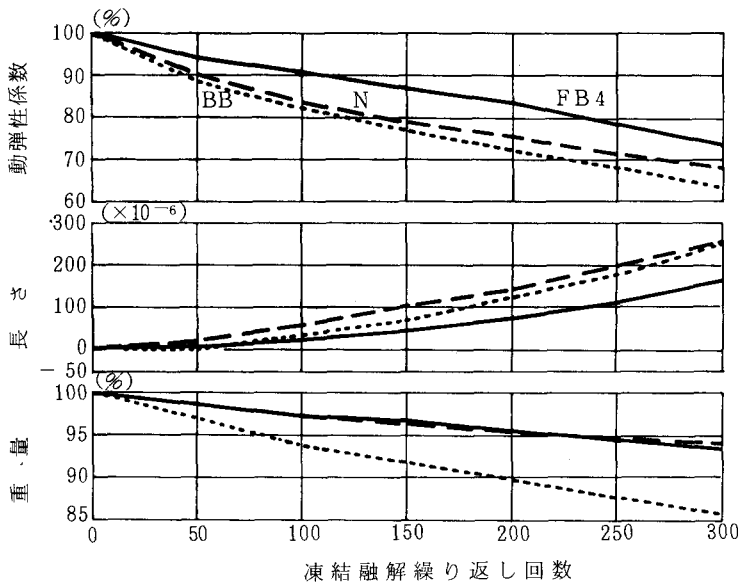


図 - 2 B 種フライアッシュ、普通、B 種高炉セメントの結果
（海水中 — 混和剤 V）

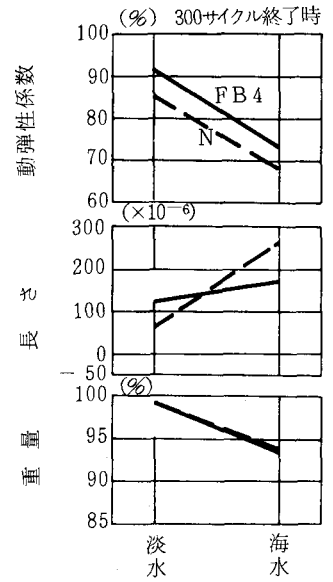


図 - 3 淡水中と海水中の比較
（混和剤 V）

3 実験結果及び考察

(1) 海水による劣化の促進状態について

フライアッシュセメントB種(M. B. 吸着量 0.35 mg/g)と普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートについて淡水中と海水中で凍結融解試験を行い劣化性状を比較した。動弾性係数、長さ、重量の測定結果を図-1, 図-2に、また、凍結融解300サイクル終了時の劣化程度の比較を図-3に示した。

淡水の作用を受ける場合に比べて、海水中のコンクリートの重量損失が大きくなることは既報²⁾の結果と同じであり、フライアッシュセメント、普通ポルトランドセメントとも、海水中では表面の剥離量が多くなった。

また、コンクリートの組織の劣化程度を示すと思われる動弾性係数あるいは長さの測定結果をみると、淡水中の場合には、その劣化の程度は微々たるものであるが、海水中では劣化の程度が大きくなっている。

このように、海水中のコンクリートの凍結融解抵抗性が淡水中より劣る理由は、海水中の MgSO_4 などの硫酸塩による化学的侵蝕作用のためとも考えられるが、空気量を10%~12%混入することにより、重量損失が軽減されるという実験結果³⁾もあり、物理的作用が卓越しているのではないかと推測される。しかし、この実験の範囲からは、これらのことは明らかにできず、今後の検討を待たなければならない。

(2) フライアッシュの分量の影響について

フライアッシュの分量が海水中のコンクリートの凍結融解抵抗性に与える影響を調べるために、フライアッシュの品質(M. B. 吸着量 0.35 mg/g)が同じで分量が8%, 15%, 22%の3種類のセメントを用いて実験を行った。その結果を図-4に、また凍結融解300サイクル終了時の劣化程度の比較を図-5に示した。

これらから明らかなように、材令28日からの海水中の凍結融解試験の結果では、普通ポルトランドセメントと比較して、フライアッシュの分量が8%の場合は耐久性が大きく、15%の場合でほぼ同程度であり、22%の場合は重量の減少量がやや多くなっている。フライアッシュ15%混合のときの劣化程度が普通ポルトランドセメントとほぼ同じである傾向は、後述の他の混和剤(P及びC)を使用したときも同様であり、フライアッシュセメントB種を使用した場合、普通ポルトランドセメントにくらべて、材令28日における圧縮強度は、一般にやや低い、海水中の凍結融解抵抗性は、ほぼ同じになると考えられる。

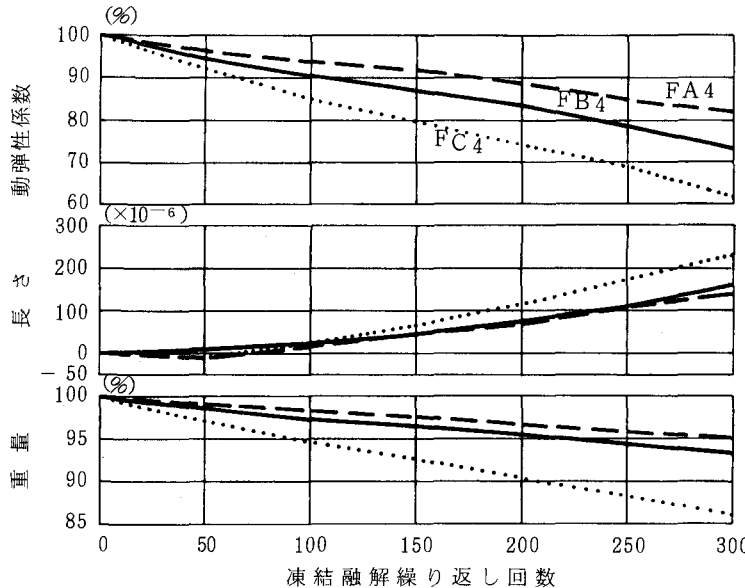


図-4 フライアッシュの分量の影響-1
(海水中 - 混和剤V)

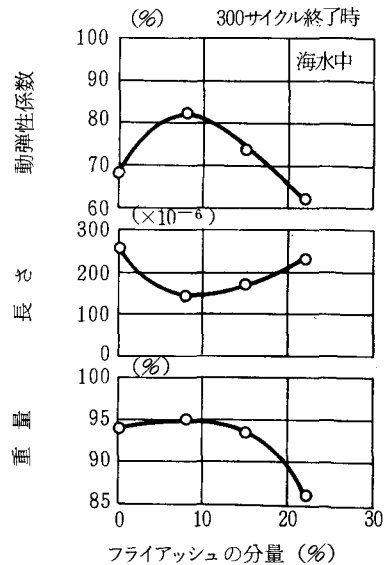


図-5 フライアッシュの分量の影響-2
(混和剤V)

また、フライアッシュセメントA種（分量8%）は、圧縮強度、海水中の凍結融解抵抗性とも普通ポルトランドセメントを上回っており、セメントの水和作用とフライアッシュのポゾラン反応がある程度進行していることがうかがえる。フライアッシュセメントC種（分量22%）は、普通ポルトランドセメントにくらべて、重量減少量が多いが、この実験は材令28日に開始したものであり、C種のようにフライアッシュの混合量が多い場合、3か月以降の長期材令で強度発現が期待されることからしても、この実験結果から海水中の凍結融解抵抗性が小さいとは結論できず、フライアッシュのポゾラン反応が十分に発揮された状態で比較すれば、フライアッシュセメントC種でも耐久性が普通ポルトランドセメントと同様かむしろ増加することが考えられる。

以上のように、フライアッシュセメントを用いたコンクリートを十分に養生すれば、普通ポルトランドセメントと同程度かそれ以上の耐久性が得られると考えられる。ただ、実際の構造物に使用される場合、湿潤養生が長期間にわたって行われることは、むしろ少ないと思われるので、養生、特に海岸地方特有の風による乾燥などが、コンクリートの強度・耐久性に与える影響について十分検討する必要があると思われる。

(3) フライアッシュのM. B.吸着量の影響について

フライアッシュは、火力発電所のような微粉炭燃焼ボイラーの煙道ガス中から捕集される副産物であるから、未燃カーボンを含んでいる。この場合、活性炭素量の多いフライアッシュを用いると、A E 剤が吸着されるので、所要の空気量を得るのに必要な、単位A E 剤量が増加する¹⁾ ことになり、空気量の管理に注意を要するところである。

そこで、この炭素含有量が海水の作用を受ける場合の凍結融解抵抗性に与える影響について検討するため、含有炭素の活性度を示す指標であるM. B.吸着量が異なるフライアッシュを用いて凍結融解試験を行った。実験に用いたフライアッシュのM. B.吸着量は、表-1に示すように0.23, 0.35, 0.60^{mg/g}の3種類である。フライアッシュの分量は、いずれも15%とし3種類の混和剤を使用した場合のそれ

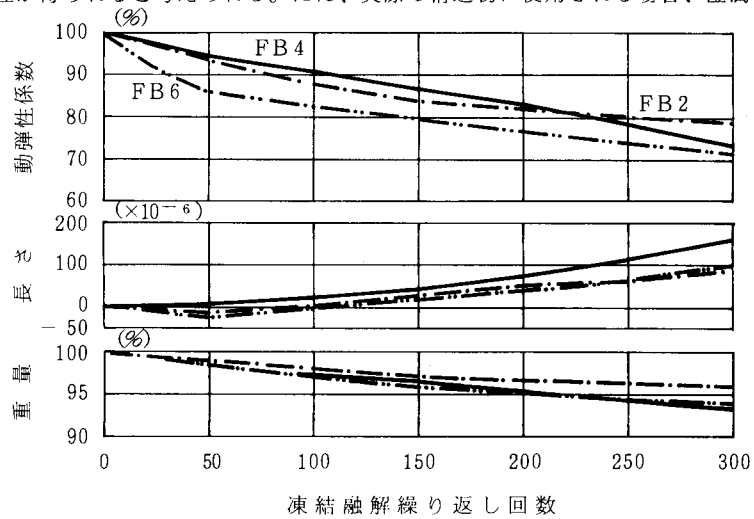


図-6 M. B. 吸着量の影響-1
(海水中-混和剤V)

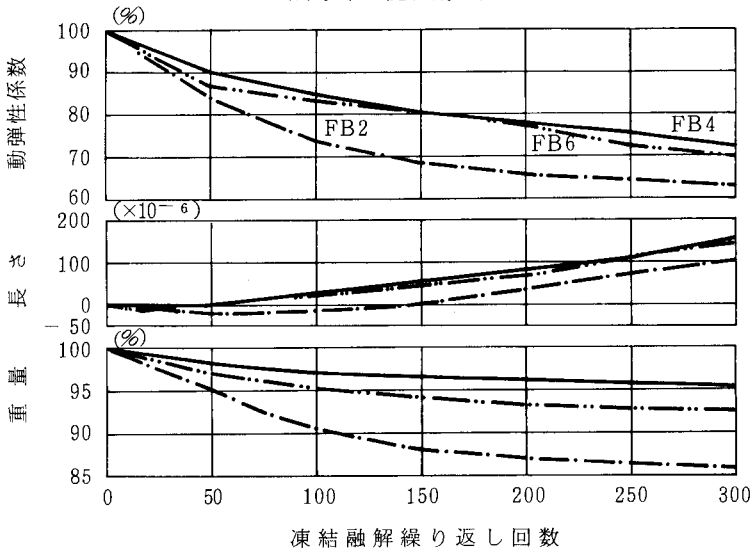


図-7 M. B. 吸着量の影響-2
(海水中-混和剤P)

それぞれについて実験を行った。

図-6, 図-7, 図-8は、それぞれ混和剤V, P, C, を使用した場合の結果である。さらに、比較のために、混和剤P, Cを使用した場合の普通ポルトランドセメント、高炉セメントの実験結果を図-9, 図-10に示した。なお、混和剤Vの場合の普通、高炉セメントの結果は図-2に示してある。また、これらのセメントを使用した場合の凍結融解300サイクル終了時の劣化程度の比較を混和剤別に図-11に示した。

これらの結果から、フライアッシュのM. B.吸着量が海水中のコンクリートの凍結融解抵抗性に与える影響はなく、M. B.吸着量が増加してもコンクリートの気泡組織には変化がないことが推測された。したがって、所定の空気量を確保すれば、M. B.吸着量の多いフライアッシュでも有効に利用され得ると考えられる。

比較のために行った高炉セメントB種を使用した場合の海水中の凍結融解抵抗性も、普通ポルトランドセメント、フライアッシュセメントB種と、ほぼ同程度と考えられる。

4 ま と め

フライアッシュの分量、M. B.吸着量が海水の作用を受けるコンクリートの凍結融解抵抗性に与える影響について検討した。

本実験の範囲から次のことがいえると思われる。

1. フライアッシュセメント、普通ポルトランドセメントいずれを使用した場合とも、淡水の作用を受ける場合に比べて海水中のコンクリートは、凍結融解作用に対する耐久性が劣る。

2. 材令28日(標準養生)で凍結融解試験を開始したときの、海水中の抵抗性を比較すると、フライアッシュセメントB種と普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの劣化程度は、ほぼ同じであり、フライアッシュセメントA種を用いた場合は、普通ポルトランドセメントを使用した場合より抵抗性が大きくなる。

3. フライアッシュのM. B.吸着量が海水の作用を受けるコンクリートの凍結融解抵抗性に与える影響はみとめられなかった。この結果から、空気量の管理さえ十分に行えば、M. B.吸着量の多いフライアッシュも有効に利用できることが確かめられた。

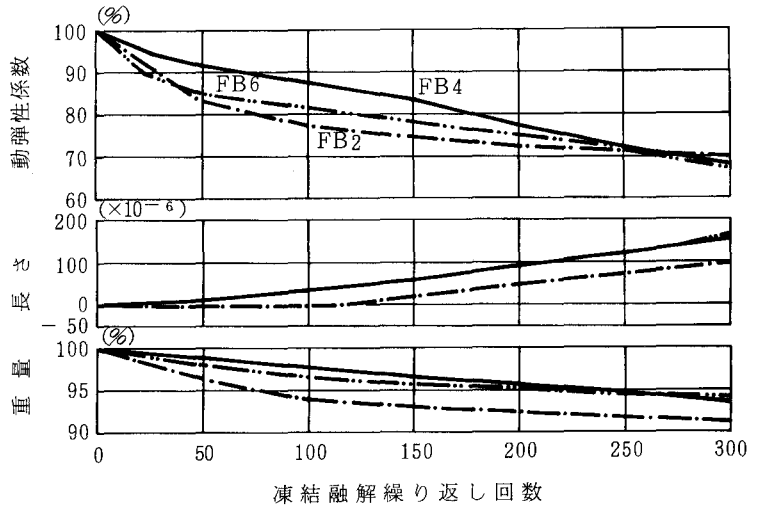


図-8 M. B. 吸着量の影響-3
(海水中-混和剤C)

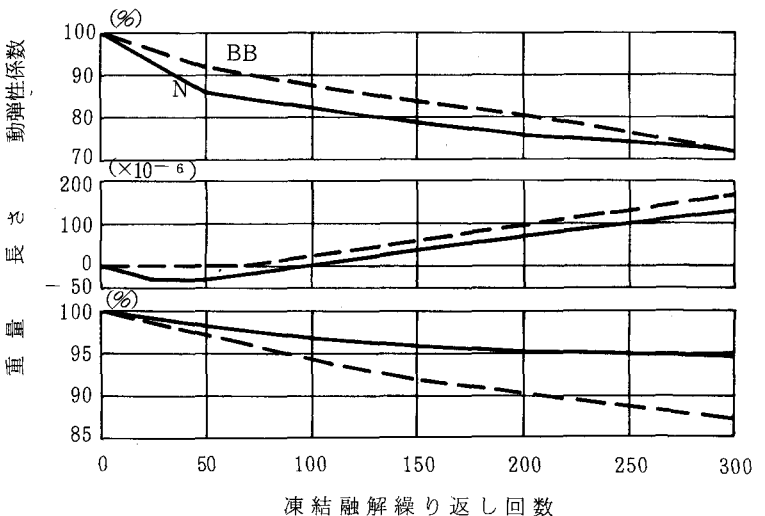


図-9 普通, B種高炉セメントの結果-1
(海水中-混和剤P)

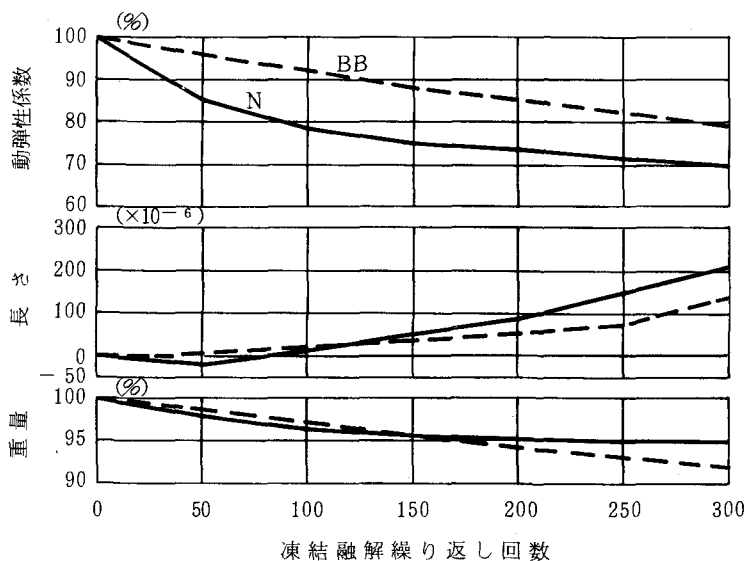


図-10 普通，B種高炉セメントの結果-2

(海水中-混和剤C)

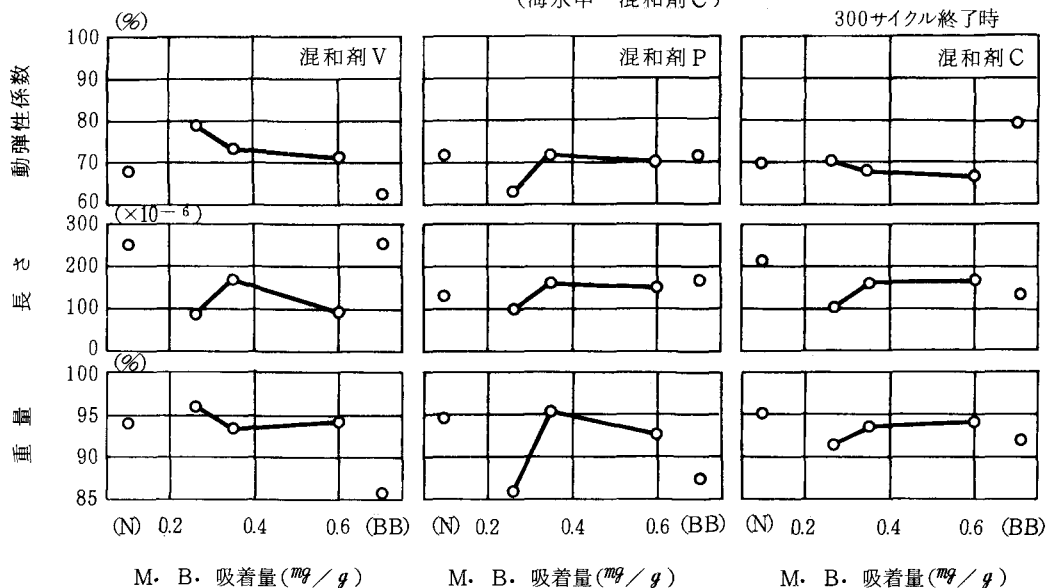


図-11 M. B. 吸着量の影響 - 4

(ただし、Nは普通，BBはB種高炉セメント)

本研究の遂行にあたり、フライアッシュの調合、フライアッシュセメントの試製など種々の御便宜をはかっていただいた日本セメント（株），並びに北電興業（株）に厚く御礼申し上げます。

参考文献

1. 林正道，鮎田耕一：フライアッシュセメントコンクリートの諸性質について、セメント技術年報33，1979
2. 林正道，鮎田耕一，猪狩平三郎：海水の作用を受けるコンクリートの凍結融解抵抗性，土木学会北海道支部論文報告集 35，1979
3. Inge Lyse: Durability of Concrete in Sea Water, Journal of the American Concrete Institute, vol 57, 1961