

V-11 配合及び養生条件の違いによるコンクリートの表層強度特性

八 戸 高 専 正員 ○菅 原 隆
 北 海 道 大 学 正員 藤 田 嘉 夫
 “ 正員 佐 伯 昇
 “ 正員 高 田 宣 之

1. まえがき

海岸地帯におけるコンクリート構造物は海水の影響はもとより、常に変化する環境を連続して受ける厳しい条件下におかれている。これらの構造物は所要の強度を持つとともに、耐久性を保持するように配合設計しなければならない。特に寒冷地においては凍結融解作用を受けてコンクリート表層部の劣化が進み、表面はく離の被害を受けやすくなるので耐久性がさらに重要なこととなる。この様な被害は、材料・配合等のコンクリート自体の内的な要因と施工時の環境・養生方法・海水の作用・気象作用・凍結融解等、その後のコンクリート構造物の置かれた環境による外的要因が複雑にからみ合って起こるものと考えられる。北海道における海岸コンクリート構造物には混合セメントの使用が多く、長期的に見れば強度増加があり、耐久性の点からも好ましいものであるが、強度発現が遅いという事より打設後の環境条件を受けやすく混合セメントを使用した海岸コンクリート構造物に表面はく離の現象が多く見られる。

2. 実験概要

本研究では凍結融解作用を受ける前のコンクリート表層部の劣化性状が、その後の凍結融解作用を受けるコンクリートの耐久性に重要な関係があり、そのために凍結融解作用を受ける前の表層強度特性を調べるものである。セメントとしては普通セメントと混合セメントを用い、配合では水セメント比、細骨材率を変化させた。特に養生条件としては養生日数を取りあげ、その後の環境条件を海岸地域に曝露してコンクリート表層部の力学的特性を求めた。表層部の力学的特性はこれまでのくぎ抜き法を改良した方法とウルトラソニック法による実験によって求め、材料・配合および養生日数による影響を調べたものである。

3. 実験方法

1) 使用材料及び配合 セメントは普通ポルトランドセメント(以下Nと略) 高炉セメントB種(以下BBと略)、フライアッシュセメントB種(以下FBと略)の3種類を使用した。細骨材は錦岡産の海砂、粗骨材は静内川産の25mm川砂利を用いた。それらの物理的性質は表1, 2に示す。配合は単位水量145Kg/m³で一定とし、水セメント比(W/C)は50、55、60%に変化させた、さらに細骨材率の影響を見るためにS/aを33、38、43%と変えた。混和剤はAE剤

表-1

	比重	吸水率 (%)	粗粒率	単重 (kg/m ³)	実積率 (%)
細骨材 海砂	2.79	1.05	2.33	1865	67.5
粗骨材 川砂利	2.76	1.09	6.80	1755	64.3

表-2

	比重	曲げ強度(kgf/cm ²)		圧縮強度(kgf/cm ²)	
		3日	7日	3日	7日
普通ポルトランドセメント	3.17	33	45	129	232
高炉セメントB種 (高炉スラグ分量40%)	3.02	36	39	108	160
フライアッシュセメントB種 (フライアッシュ分量15%)	3.02	30	54	123	193

(ウイソルW)を使用し、目標空気量5%を得る様セメント重量に対しNでは0.03%、BBでは0.05%、FBでは0.04%を使用した。また目標スランプは8cmである。

2) 供試体寸法及び作製 表層強度測定用のコンクリート供試体として図-1に示す様な8×8×20cmの角柱を作成し、逆円錐台形を頭にもつ、くぎを表面より0.7cmとなる様にセットしたもので、くぎ抜き法により強度を測定する。他にφ10×20cm供試体を作成し材令28日における圧縮強度測定用とした。練り混ぜは強制練りミキサーで1分間練り混ぜ、スランプ、空気量を測定した後、打設し棒状パイプレーターで締め固めた。打設は養生日数別に同配合で3日間に渡って行った。その配合の種類は表3に示す。

φ 10×20cm 供試体による材令28日における圧縮強度、ヤング係数(E_c)、ポアソン比は表-4 a に示した。

表
3
配合
表

配 合 (例)	セメント 種 類	水セメン ト比(%)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	A E 剤量 (ウインソル W)	目標スラン プ (c m)	目標空気 量 (%)
N 50 38 W/C 5/6 種	N BB FB	50 55 60	33 38 43	145 で 一定	セメント重量に 対して N×0.03 % BB×0.04 % FB×0.04 %	8	5

3) 養生及び環境 養生は淡水養生28日
(以下F 28と略)、淡水養生10日 (以下F10
と略)、淡水養生 5日 (以下F 5と略) の 3

ケースに変化させたもので、打設後 1 日は麻
袋とビニールシートで被って湿潤養生を行
った、その後水中 (20℃) に入れ材令10日
と 5 日で取り出しオホーツク海岸・紋別市

に 8 月31日～ 9 月22日までの材令28日に達するまで曝
露したものである。現場における気温の変化は図- 2
に示す様に曝露中の日最高気温の平均値 (T_{max}) は20.9
℃、日最低気温の平均値 (T_{min}) は12.7℃であった。写
真- 1 は曝露状況を示すもので試験面を北東に向け
て設置してある。

4) 実験装置 表層強度測定用の装置は図- 3 に
示す様に、ミハエリス 2 重テコ式曲げ試験機を改良し、
くぎをカプラーと連結して加力し、破壊荷重を求めた。
試験面は打設方向に対して側面に 3 個のくぎが埋め込

まれてあり打設深さ方向に上部、中部、下
部の位置で試験を行った。また引抜き時
の応力以外の力が試験面に作用しない様
にする為、供試体下部側面に木片をはさん
で締めて固定し、荷重の反力をとった。(℃)

4. 実験結果及び考察

1) フレッシュコンクリートの性状

単位水量を145 kg / m³と一定にし、水
セメント比と細骨材率を変化させた結果

スランプは水セメント比50、55、60%の順で大きく、細骨材率が 33、38、
43%と大きくなるに従い、18～5 cm と小さくなっている。セメントの種
類では同一単位水量なので混合セメントのスランプがやや大きく出ている。
空気量はセメントの種類に応じてAE 剤量を調整した結果、目標の空気量の
値に近いものとなった。

2) 圧縮強度 圧縮強度は N、BB、
FB いずれも水セメント比 50、55、60 %の順で強度が低下しており、N
を基準とした時 W/C =50 %では BB が87%、FB が85%、W/C=55%
ではBB 89%、FB 86%、W/C=60%ではBB 87%、FB 78%となり N、BB、
FB の順で強度が低下している。S/a の変化による強度への影響はセメン
トの種類や水セメント比によってそれぞれ違っており明確ではない。N、
BBにおいてs/a が大きくなるとやや強度の増加が見られるが、FB では

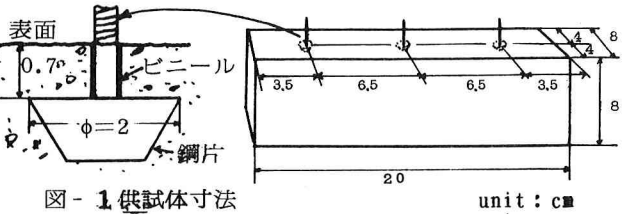


図- 1 供試体寸法

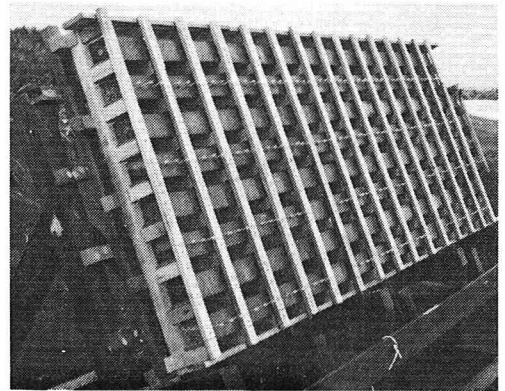


写真- 1 曝露状況

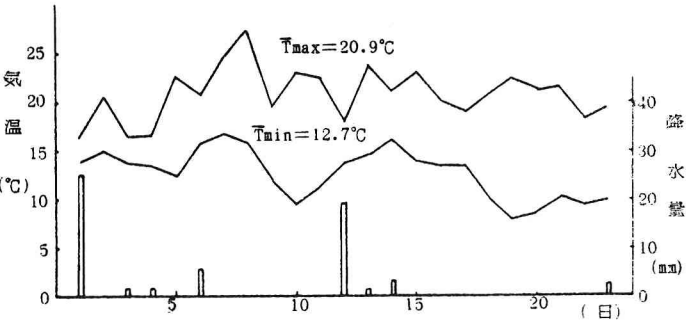


図- 2 曝露地点の日最高、最低気温及び降水量

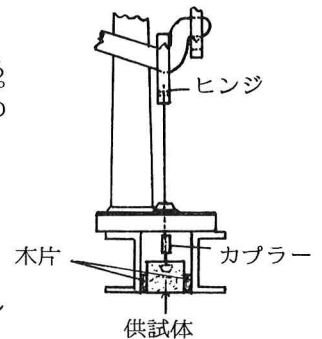


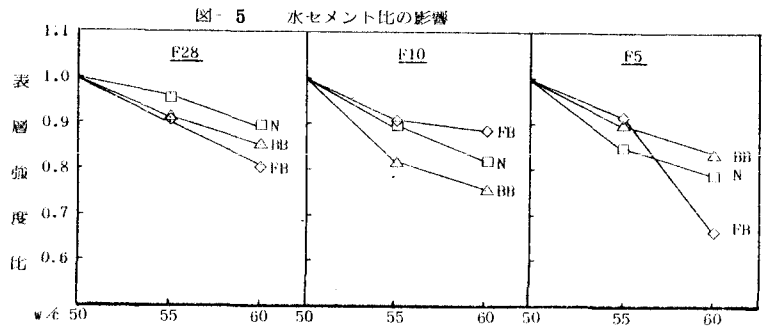
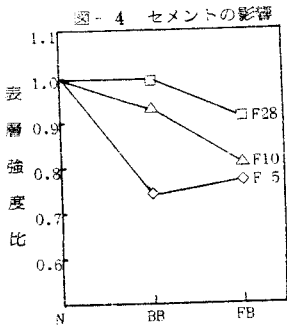
図- 3 実験装置の概略図

わずかではあるがそれと逆になる様な傾向を示した。

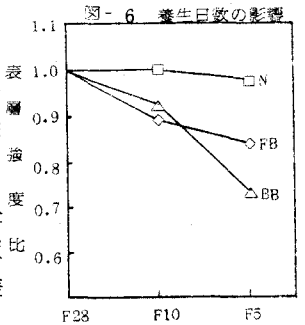
表- 4 a, h 強度特性

配 合	a						配 合	h						配 合	a						配 合	b								
	σ_{28} kg/cm ²	E_c ×10 ⁴ kg/cm ²	ν ポアソン比	$P_{0.7}$ kg/cm ² F28	G_c kg/cm ² F28	$P_{0.7}$ kg/cm ² F5		σ_{28} kg/cm ²	E_c ×10 ⁴ kg/cm ²	ν ポアソン比	$P_{0.7}$ kg/cm ² F28	G_c kg/cm ² F28	$P_{0.7}$ kg/cm ² F10		σ_{28} kg/cm ²	E_c ×10 ⁴ kg/cm ²	ν ポアソン比	$P_{0.7}$ kg/cm ² F28	G_c kg/cm ² F28	$P_{0.7}$ kg/cm ² F10		$P_{0.7}$ kg/cm ² F5	σ_{28} kg/cm ²	E_c ×10 ⁴ kg/cm ²	ν ポアソン比	$P_{0.7}$ kg/cm ² F28	G_c kg/cm ² F28	$P_{0.7}$ kg/cm ² F10	$P_{0.7}$ kg/cm ² F5	
N 5033	297	2.77	0.214	66	0.019	65	71	BB 5033	244	2.40	0.178	65	0.022	67	47	FB 5033	248	2.68	0.194	61	0.017	55	53							
N 5038	299	2.68	0.212	61	0.016	65	69	BB 5038	263	2.34	0.190	69	0.025	65	46	FB 5038	265	2.68	0.237	59	0.016	55	55							
N 5043	316	2.84	0.194	67	0.019	73	64	BB 5043	285	2.40	0.192	65	0.022	66	55	FB 5043	263	2.72	0.216	65	0.019	50	55							
N 5533	259	2.83	0.188	60	0.017	58	54	BB 5533	238	2.38	0.181	62	0.020	47	41	FB 5533	228	2.55	0.194	56	0.015	50	56							
N 5538	252	2.54	0.187	57	0.015	63	62	BB 5538	225	2.23	0.235	60	0.019	57	47	FB 5538	229	2.53	0.207	56	0.015	47	48							
N 5543	265	2.66	0.201	67	0.020	60	58	BB 5543	226	2.55	0.191	59	0.017	58	48	FB 5543	213	2.48	0.207	55	0.015	49	48							
N 6033	224	2.50	0.182	58	0.016	60	59	BB 6033	198	2.22	0.204	58	0.018	50	42	FB 6033	187	2.29	0.199	49	0.013	46	43							
N 6038	232	2.51	0.183	58	0.016	51	48	BB 6038	203	2.36	0.170	58	0.018	49	37	FB 6038	176	2.20	0.179	47	0.012	49	40							
N 6043	236	2.53	0.206	56	0.015	55	55	BB 6043	202	2.19	0.164	54	0.017	51	45	FB 6043	181	2.26	0.168	52	0.015	48	37							

3) 表層強度 セメントの種類による影響 強度発現の遅い混合セメントでも水中養生で材令28日では N に対して同程度の強度を持つ様になる。水中養生28日における表層部分における強度はN、BB、FB に大きな差はなく図- 4 を見てもわかる様にFB がわずかに小さい値となっているにすぎない。N に対してF 10の材令28日で試験した BB の強度は93%、FB では83%となる。同様に F 5においては BB で75%、FB で78%の値となる。 水セメント比の影響 セメントの種類別、細骨材率の変化、養生日数の違い別で見ても表層強度に与える水セメント比の影響はかなりハッキリと出ており、単位水量が同一なので単位セメント量の増加が表層強度を大きくしている。図- 5 より F 28においては、N の場合 W/C=50%に対してW/C=55、60%で96%、89%の値となる。同様に BB は91%、85%、FB では90%、80%の値となる。F 10の場合はW/C=50%に対し、W/C=55、60%では N が89%、82%、BB が82%、76%、FB で91%、89%の値となる。同様に F 5においては N で85%、79%、BB で92%、84%、FB で93%、67%の値となっている。



細骨材率の影響 セメントの種類、水セメント比、養生日数などに比べて見ても表層強度に及ぼす細骨材率の影響は明確でなく、フレッシュコンクリートの性状に対し、影響を与えているに過ぎないと考えられる。 養生日数の違いによる影響 材令28日まで水中養生した場合、セメントの種類による影響はそれ程小さく同程度の値となっている。混合セメントでは初期強度の発現が遅いが材令28日前後にはNと同程度か、それ以上の値を示す様になり長期に渡って養生すれば表層部分は強度を増す事がわかる。しかし養生日数の短いものが曝露され、乾湿の繰り返しを受けると表層部の強度発現が停滞し、表層の強度は内部に比べて低下する。N は比較的早期に強度を発現することから5日程の養生を行えば十分な強度を得る事ができるものと考えられるが、混



合セメントにおいては養生日数の減少により表層強度の低下をまねく傾向を示す。図- 6 より N の場合 F 28に比べ F10、F 5ともほとんど変化ないのに、BB ではF10で93%、F 5で74%と大きく減少する。

FB ではF10で89%、F 5で84%の値となっている。これらの結果より混合セメントにおいては材令28日における表層強度に近づけようとする為には、少なくとも10日以上養生があるいは初めから強度の高いコンクリートにする事が必要であると考えられる。図- 7 に各配合において F 28を基準とした時の表層強度の比をとって示してあるが、養生日数の違いによって表層強度に与える影響がハッキリと出ている。N の場合W/C=50 %の時、多少増加の傾向を見せるが、W/C=55、60%はともに低下する。その割合はほぼ同様で F 5で5%減となる。BB ではW/C=50%の F10以外は全て減少の傾向を示めし、W/C 55、60%の F 5では25%程度の低下となる。FB においては、W/C=50、55%とも同じ様な傾向を示し F10、F 5で10%程度の低下となる、W/C=60%において F 5では26%の減少を示す。

図- 8、9 は同配合で打設し材令28日まで水中養生を行った時の表層強度 ($P_{0.7}$) と圧縮強度 (σ_{28})、破壊じん性 (G'_c) と圧縮強度 (σ_{28}) の相関性を求めたものであり、それらの回帰式は図中に示す通りである。

破壊じん性について
表層強度よりひび割れの耐力を示めす指標となる破壊じん性を下式で求めた。

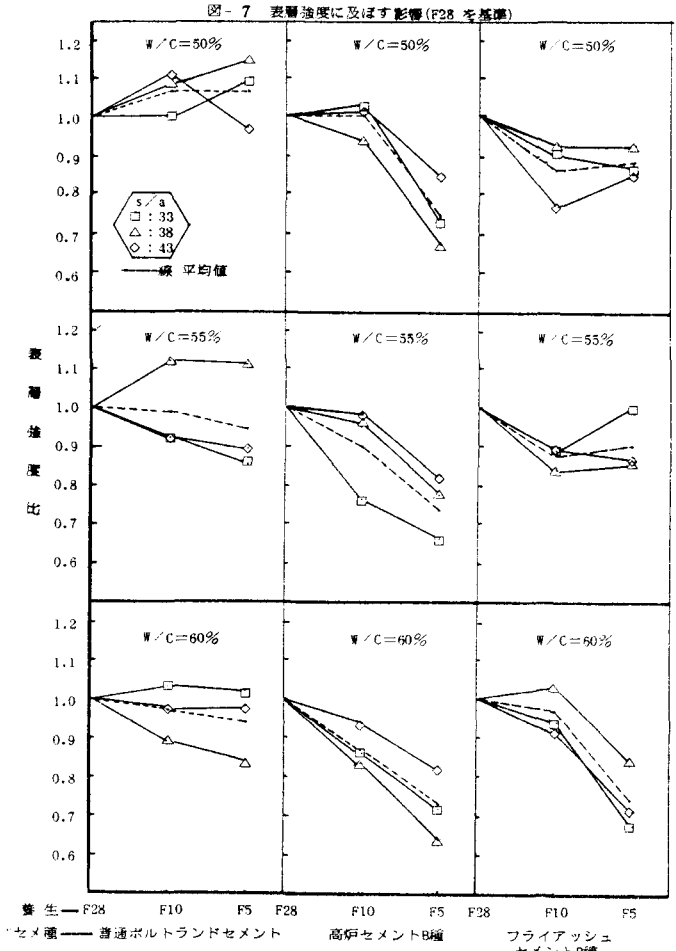
$$G'_c = \frac{4 \cdot P_{0.7}^2 \cdot (1 - \nu^2) \cdot a}{\pi \cdot E}$$

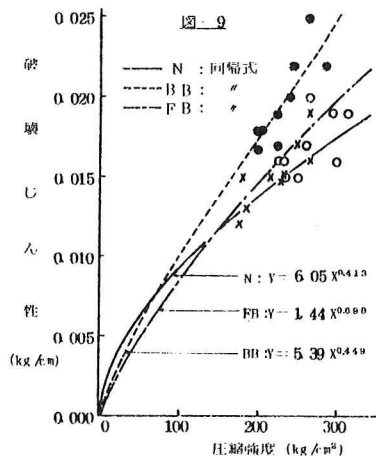
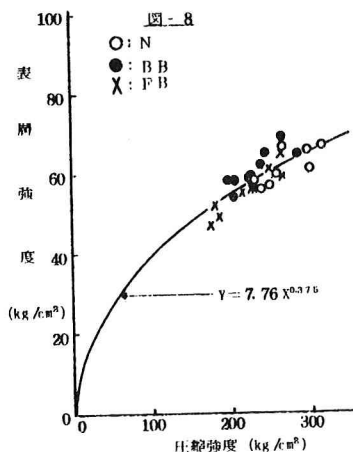
$$G_c = G'_c / \Omega^2$$

G_c : 破壊じん性 (kg/cm)
 $P_{0.7}$: 深さ7mmにおける表層強度 (kg/cm²)
 E : ヤング係数 (t/cm²)
 ν : ポアソン比
 a : ペニシエブドクラック半径 (cm)
 Ω : 補正係数

F28において、N では0.020～0.015kg/cm、FBでは0.019～0.012kg/cm となっており表層強度の大きい方が破壊じん性も大きくなっている。またF28での E_c 、 ν と現場に曝露した供試体からウルトラソニック法によって求めた E_c より F10、F 5における G_c の値を推定してみたところ、F 28に対してN の場合

F10で98%、F 5で96%とほとんど変わらず、BB においてはF10で83%、F 5で52%、FB においてはF10で79%、F 5で71%と低い値を示し、今まで述べてきた結果とはほぼ一致した傾向を示している。表- 4 b より F 28における G'_c はBB が大きく出ており混合セメントにおいては特に急入な施工と初期の養生を充分に行なえば破壊じん性も増すものと考えられる。





5. 表面はく離片の形状 (くぎ抜き法による)

くぎ抜き試験を行った時の破片と供試体を写したものが写真-2である。破片を観察すると、Nにおいては破片の方に粗骨材のうちでも小さいものが付着していたり、中には粗骨材が破壊しているものも見られた。これはモルタルと骨材の付着性能の良い事を示めている。BB、FBにおいても材令28日ではNと同様の傾向が見うけられたが、養生日数の少ない混合セメントを用いたコンクリートにおいては、破片に粗骨材がついてとれる事はあまりなく粗骨材が破片から抜けてしまったような傾向が数多く見られた。この事より充分な養生をしない混合セメントを用いたコンクリートを曝露した場合、表層部の付着性能は低減しているものと考えられる。

6. まとめ

セメントの種類において、普通ポルトランドセ

メント、高炉セメントB種、フライアッシュセメントB

種を使用し、水セメント比を50,55,60%、細骨材率を33,38,43%と変化させた配合のコンクリートについて、養生日数を淡水水中養生28日、10日、5日と変えて材令28日まで海岸に曝露した時のコンクリートの表層強度については次の様な事が言える。

(1) 各配合において材令28日における表層強度に及ぼすセメントの種類の影響は普通ポルトランドセメント、高炉セメントB種ともほとんど同程度であり、フライアッシュセメントB種においても1.0~0.9倍の値となっていることから、混合セメントを用いた場合でも充分な養生を行なう事により表層部分の強度低下はほとんどない。

(2) 養生日数の少ないものが曝露されるとその表層強度は減少する。各配合において水中養生28日を基準にみると、普通ポルトランドセメントではF10、F5ともほとんど変化が見られないが、高炉セメントB種ではF10、F5となるに従い0.9~0.7倍、フライアッシュセメントB種では0.9~0.8倍となり、5日間程度の中水養生後曝露されるとその後の水和反応が停滞する事となり、表層強度の増加があまりみられない。

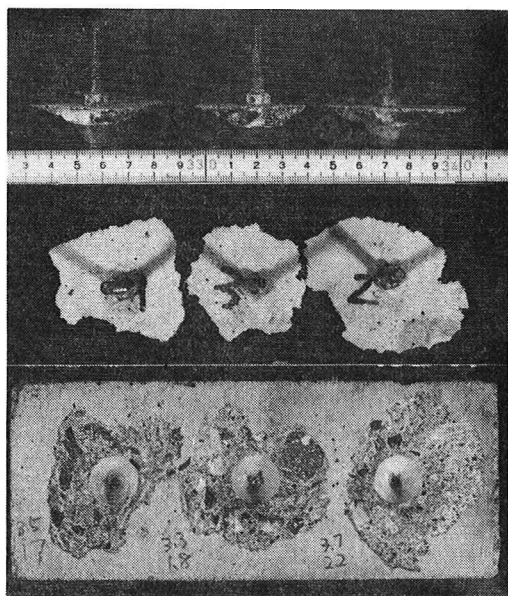
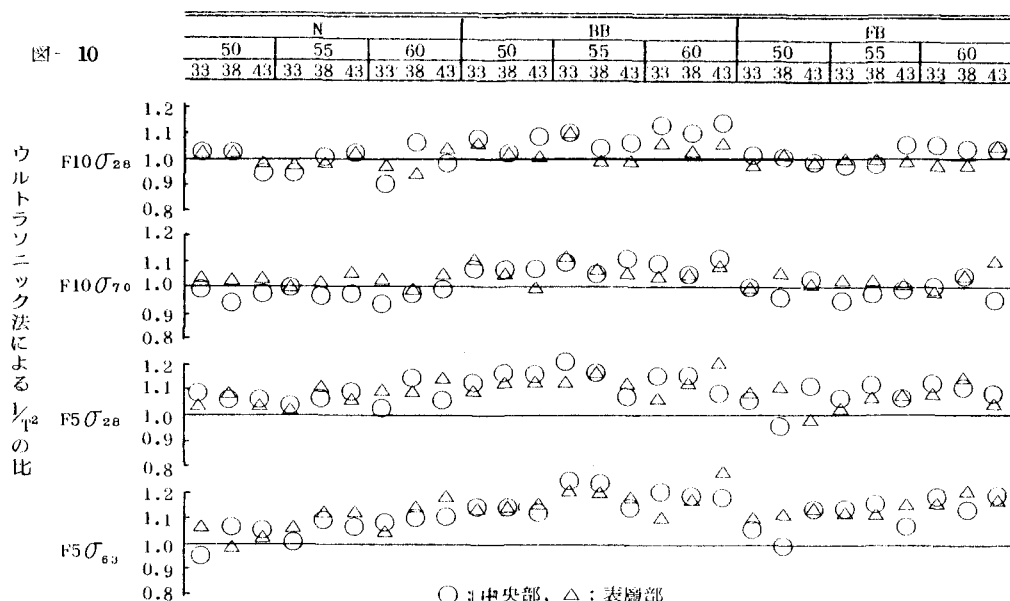


写真-2 (BB-50-38-F28)

図- 10



※ 曝露する前の値に対する、材令28、63、70日での変化を示す。

(3) 各配合において水セメント比が圧縮強度や表層強度に与える影響は大きく、圧縮強度が大きくなるに従って表層強度も増加する。

(4) 細骨材率の表層強度に及ぼす影響はあまり明確でなく、この程度 (33%、38%、43%) の変化では、はっきりした傾向が認められなかった。

(5) ひび割れに対する抵抗力としての破壊じん性値は、配合や養生条件の違いによって明確に出ており表層強度を測定することにより、その後の凍害による表面はく離の被害を推定する上で有効な指標となりうる。

(6) ウルトラスニック法によってコンクリート供試体の表層部分と中央部分の動弾性性状を測定したが図- 10に示す様に曝露する前の値に比べてあまり差のない事がわかった。

本研究は昭和55年度内地研究員として、北海道大学工学部土木工学科コンクリート工学講座において、藤田教授・佐伯助教授・高田助手の御指導の下に行ったものであり、北海道大学ならびに関係各位に感謝致しますとともに、実験を行うにあたって御世話になりましたコンクリート工学講座のみなさまに対しましても心より感謝するものであります。

(参考文献)

1. 藤田・佐伯 「寒冷地における海岸コンクリートの劣化について」 昭和54年度 北海道科研報告書
2. 佐伯・高田・藤田 「コンクリート表面部の劣化についての 2・3 の実験」 第2回コンクリート工学年講報告集 1980
3. 高田・佐伯・藤田 「凍害によるコンクリート表面はく離に関する 2・3 の実験」 土木学会 第 35 回年講 1980
4. 藤田・佐伯 「コンクリートのひびわれ発生・伝播について」 コンクリート工学 Vol. 16 No. 11, Nov 1978
5. 佐伯・桜井・鮎田 「夏期に曝露されたコンクリートの表面はく離耐力に関する 2・3 の実験」 第 34 回セメント技術大会 1980